коп.

ИЗДАТЕЛЬСТВО ДОСААФ

В ПОМОЩЬ РАДИОЛЮБИТЕЛЮ

РЕЛЕ-РЕГ. К „ЖИГУЛЯ

ВЫПУСК 49

197



УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

А. Хлупнов

Усилитель низкой частоты, описание которого помещено ниже, предназначен для работы в стационарной аппаратуре высококачественного звуковоспроизведения. Номинальная выходная мощность усилителя 12 Вт (на нагрузке 6 Ом) при входном сигнале 35 мВ. Рабочий диапазон частот 30 — 20 000 Гц. Регулировка тембра на крайних частотах диапазона +14 ÷ —20 дБ. Уровень фона не превышает —74 дБ. Коэффициент нелинейных искажений при номинальной выходной мощности не более 1%. Частотный диапазон на уровне 0,7 20 Гц — 50 кГц. Максимальная выходная мощность 25—30 Вт.

Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 1. Двухкаскадный предварительный усилитель с темброблоком выполнен на четырех транзисторах *Т1—Т4*. Применение усилительных каскадов с отрицательной обратной связью на транзисторах разной структуры, описанных в работе В. Верютина («В помощь радиолюбителю», ДОСААФ, 1972, вып. 39, с. 52—58), позволило получить входное сопротивление усилителя не менее 200 кОм, которого вполне доста-

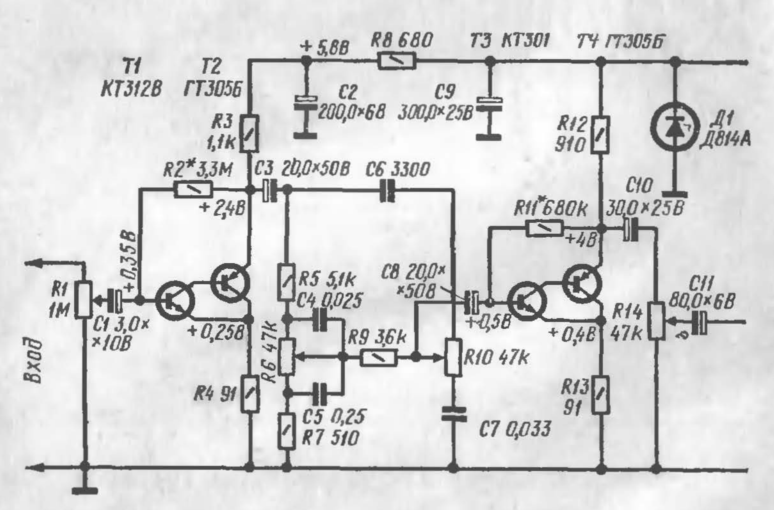


Рис. 1. Принципиальная схема усилителя низкой частоты

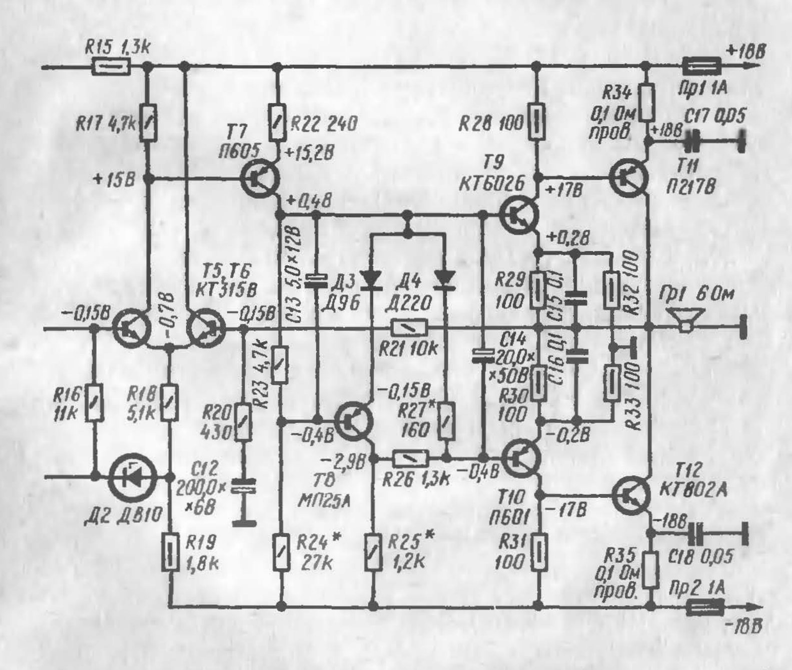
точно для подключения пьезоэлектрического звукоснимателя. Большое входное сопротивление второго каскада, выполненного на транзисторах *Т3, Т4*, улучшило работу темброблока. Предварительный усилитель обеспечивает усиление сигнала по напряжению в 10 раз, его выходное сопротивление 1 кОм.

Оконечный усилитель выполнен на транзисторах *Т5—Т12*. На транзисторах *Т5, Т6* собран дифференциальный каскад. Он предназначен для стабилизации нулевого потенциала относительно общего провода, так как нагрузка подключена к выходу оконечного каскада без разделительного конденсатора. Стабилизация режима работы каскада при изменении напряжения питания осуществляется диодом *Д2*.

С помощью каскада на транзисторе *Т8* осуществляется температурная стабилизация тока покоя транзисторов *Т11, Т12* (ж-л «Радио», 1971, № 11, с. 44—45).

Применение в выходном каскаде транзисторов разной структуры улучшило симметрию плеч. Коллекторы транзисторов *Т11—Т12* соединены вместе, что позволило устанавливать транзисторы на общем радиаторе.

Входное сопротивление оконечного усилителя 10 кОм.



Применение двух переменных резисторов *R1, R14*, установленных соответственно на входе предварительного и оконечного усилителей, значительно повысило плавность регулировки громкости. В темброблоке переменным резистором *R6* осуществляется плавная регулировка по низшим частотам, а *R10* — по высшим.

Для питания усилителя применен стабилизированный источник питания (рис. 2), позволяющий получить на выходе напряжение ±18 В относительно общего провода. Подстроечными резисторами *R42* и *R45* устанавливают требуемую величину напряжеиия.

Детали и конструкция. Усилитель смонтирован на трех печатных платах. На первой плате (рис. 3) размещен предварительный усилитель, на второй (рис. 4) — оконечный, а на третьей — блок питания. Транзисторы *Т11*, *Т12* и *Т16*, *Т17* установлены на литых алюминиевых радиаторах размерами 100 × 100 × 35 мм, имеющих по 10 ребер. Транзисторы *Т7*, *Т9*, *Т10* закреплены на дополнительных теплоотводах, изготовленных из алюминиевого уголка (20 × 20 × 2 мм) длиной 30 мм. Транзисторы *Т15*, *Т18* укреплены на медных пластинах размерами 30 × 40 × × 2 мм. Диоды *Д3*, *Д4* для лучшей температурной стабилизации приклеены на радиаторе транзистора *Т10*.

В предварительном усилителе, кроме указанных на принципиальной схеме транзисторов, можно использовать КТ301, КТ312, КТ315, причем в первом каскаде необходимо использовать транзисторы с наибольшим значением $B_{ст}$. В выходном каскаде можно применять транзисторы КТ803, КТ805, П216, П4. Резисторы *R34* и *R35* намотаны константановым проводом диаметром 0,3 мм на резисторе типа МЛТ-1. В усилителе использованы конденсаторы типа К50-3, К50-6, ЭМ, МБМ, постоянные резисторы типа МЛТ, переменные — СП-0,5. В блоке питания в качестве подстроечных резисторов (*R42*, *R45*) использованы резисторы СП3-1Б.

Трансформатор выполнен иа сердечнике Ш20 × 40. Первичная обмотка содержит 1550 витков провода ПЭВ 0,25, экранирующая — один слой того же провода, вторичная — 220 витков провода ПЭВ 1,0 и имеет отвод от середины.

Усилитель с блоком питания смонтирован на общем основании размером 360 × 280 мм, выполненном из текстолита толщиной 4—5 мм. Все переменные резисторы укреплены на передней панели (алюминий толщиной 1,5 мм). На ней также закреплены индикаторная лампа *Л1* и входной разъем. Сзади расположены зажимы для подключения нагрузки. Печатные платы с помощью уголков установлены вертикально. Для удобства обслуживания платы предварительного и оконечного усилителей поворачиваются относительно одной опоры. Соединения со всеми переменными резисторами для уменьшения наводок выполнены экранированным проводом, помещенным в полихлорвиниловую трубку. С той же целью соединена с корпусом передняя панель.

Налаживание усилителя начинают с проверки работо-

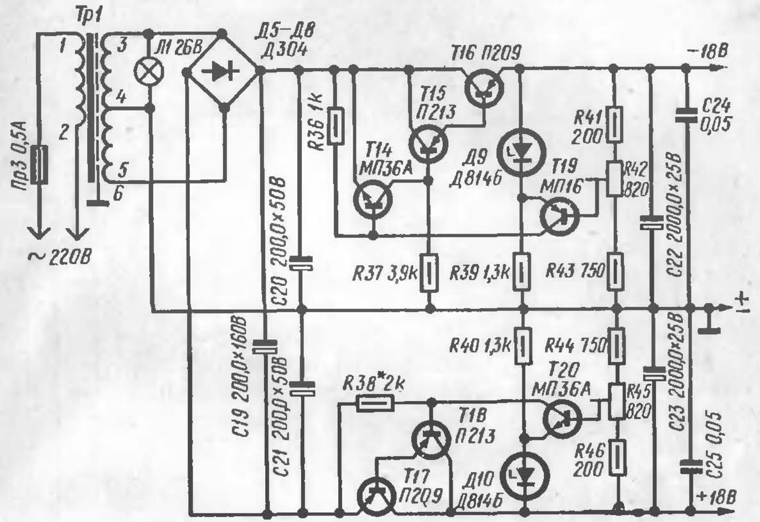


Рис. 2. Принципиальная схема блока питания

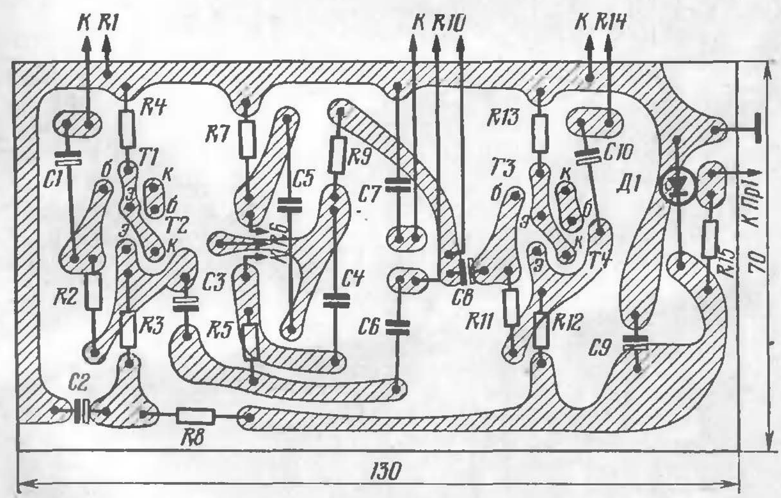


Рис. 3. Схема соединений предварительного усилителя

Рис. 4. Схема соединений оконечного усилителя

способности блока питания. С помощью подстроечных резисторов *R42* и *R45* устанавливают напряжение ±18 В относительно общего провода. Затем к блоку питания подключают предварительный усилитель и проверяют работу его каскадов. На его вход подают синусоидальный сигнал частотой 1000 Гц и по осциллографу, подключенному к конденсатору *С3*, наблюдают его форму. Подбирая резистор *R2*, добиваются того, чтобы ограничение синусоидального сигнала наступало одновременно «сверху» и «снизу». Если сопротивление резистора *R2* в пределах 3—4 МОм, то настройку первого каскада можно считать законченной. Если оно меньше этой величины, необходимо использовать транзистор с большим значением $B_{ст}$.

Аналогично производится налаживание второго каскада. Сопротивление резистора *R11* должно быть не менее 680 кОм. Налаживание оконечного каскада лучше производить отдельно. Следует обратить внимание на то, чтобы были установлены предохранители *Пр1* и *Пр2*, а вместо громкоговорителя *Гр1* был подключен резистор сопротивлением 6 Ом номинальной мощности 20 Вт. При установлении режимов работы транзисторов по постоянному току желательно вместо постоянных резисторов *R25* и *R27* включить переменные сопротивлением 240 Ом и 1,5 кОм соответственно. Их движки первоначально должны находиться в среднем положении. Подбором резистора *R24* устанавливают напряжение между коллекторами транзисторов *Т7* и *Т8*, равное 2,5—3 В. Ток, протекающий через нагрузку, не должен превышать 10—15 мА. Если он больше, то его устанавливают резистором *R27*. Затем подключают звуковой генератор к входу оконечного усилителя и подают сигнал частотой 1000 Гц и напряжением 10—15 мВ. Переменным резистором *R25* добиваются исчезновения искажений типа «ступенька». Форму выходного сигнала наблюдают на экране осциллографа. В режиме покоя ток, потребляемый усилителем, должен быть порядка 50—70 мА. На этом налаживание считается законченным. Переменные резисторы *R25* и *R27* заменяют постоянными, соединяют все платы усилителя и подключают громкоговоритель. Усилитель готов к работе.

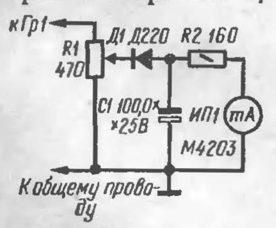


Рис. 5. Принципиальная схема индикатора выхода

Следует помнить, что все замены элементов в усилителе НЧ можно производить только при отключенном источнике питания.

Данный усилитель можно использовать и при создании стереофонической системы. Для этого необходимо изготовить два таких усилителя и использовать сдвоенные переменные резисторы в качестве регуляторов громкости и тембра. Одинарные переменные резисторы (*R14*) используются для регулировки стереобаланса. Схема индикатора выхода, который подключается к выходу каждого канала, показана на рис. 5.

Если необходимо увеличить выходную мощность усилителя, то для этого достаточно увеличить напряжение питания. Никакого дополнительного налаживания усилителя не требуется. Так, при напряжении питания 25 В номинальная выходная мощность усилителя порядка 20 Вт.

ЦВЕТОМУЗЫКАЛЬНАЯ УСТАНОВКА «РИТМ»

А. Ларионов

Принцип работы цветомузыкальной установки, описание которой помещено ниже, основан на разделении цвета в зависимости от частоты основного тона звукового сигнала и изменении яркости светоизлучения пропорционально громкости звучания.

Принято считать, что звуковым сигналам басовой группы (150—200 Гц) должен соответствовать цвет с более низкой частотой, а именно — красный. Средним частотам (200—1000 Гц) — желтый или зеленый. Высоким звуковым частотам от 1000 Гц и выше соответствует сине-голубой цвет. Это разделение весьма условно.

В большинстве установок, описанных ранее, в момент, когда сигнал отсутствует или он очень слабый, а это бывает при резкой ритмичной музыке или при речи, экран становится темным. Получаются резкие переходы от темного к яркому, что действует раздражающе на органы зрения. В данной установке в момент «затишья» экран светится нейтральным фиолетовым цветом, который исчезает с появлением входного звукового сигнала. Это значительно увеличивает спектр цветов и делает их переходы более мягкими.

Установку «Ритм» можно использовать как отдельный усилитель низкой частоты.

Технические данные цветомузыкальной установки «Ритм» следующие. Максимальная выходная мощность усилителя НЧ — 2 Вт. Коэффициент нелинейных искажений — 2,5%, чувствительность — 250 мВт. Диапазон равномерно усиливаемых частот — от 40 Гц до 20 кГц. Максимальная выходная мощность каждого канала установки — 3 Вт.

Принципиальная схема установки изображена на рис. 1.

2 4—3072

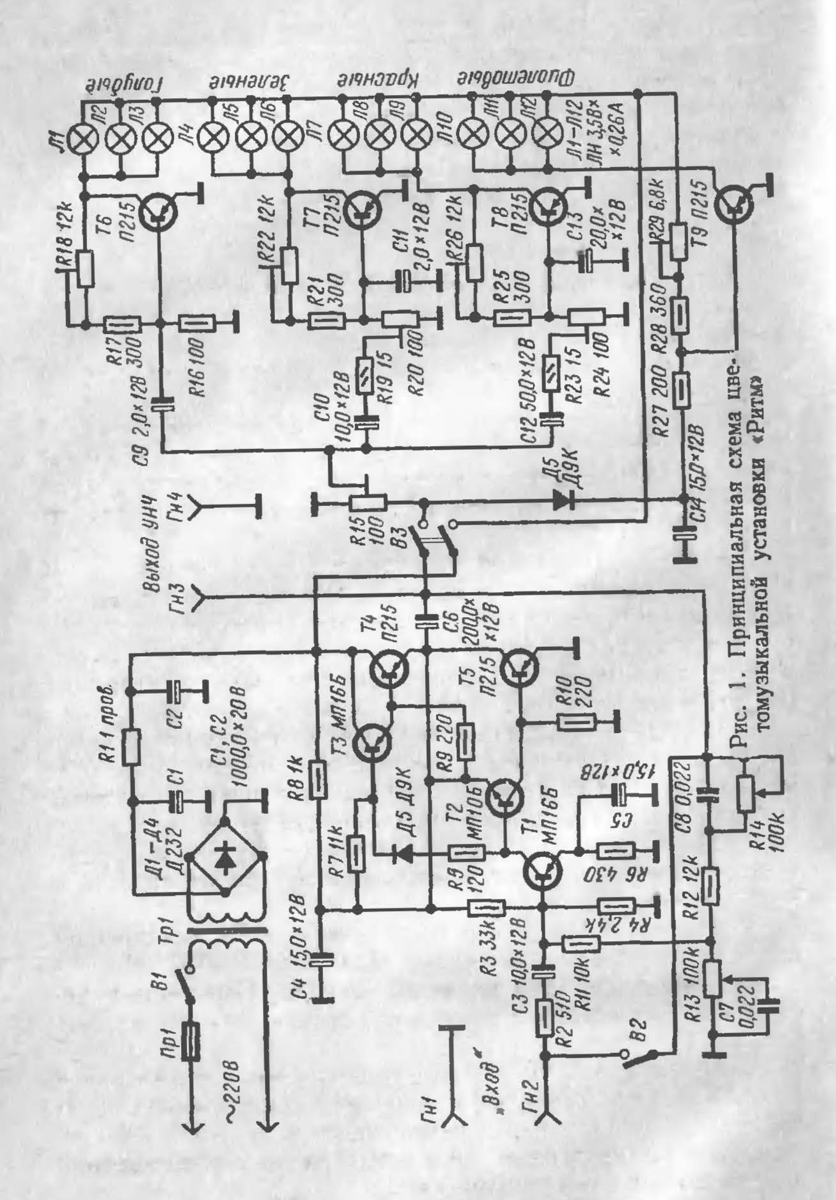


Рис. 1. Принципиальная схема цветомузыкальной установки «Ритм»

Усилитель низкой частоты собран на транзисторах *Т1—Т5*. Входной сигнал через резистор *R2* и разделительный конденсатор *С3* поступает на базу транзистора *Т1*, включенного по схеме с общим эмиттером. Резистор *R6* стабилизирует режим транзистора по постоянному току, а конденсатор *С5* устраняет отрицательную обратную связь по переменному току. Напряжение смещения на базу транзистора подается с делителя *R3R4*. На транзисторах *Т2* и *Т3* выполнен фазоинверсный каскад.

Для уменьшения зависимости тока покоя оконечных транзисторов от температуры последовательно с резистором *R5* включен диод *Д5*. Нагрузкой фазоинверсного каскада служат резисторы *R9* и *R10*, с которых сигнал подается на базы транзисторов *Т4* и *Т5*. На этих транзисторах выполнен усилитель мощности. Резисторы *R9* и *R10* частично выравнивают выходное сопротивление плеч фазоинверсного каскада. Выходной каскад выполнен по бестрансформаторной схеме и нагружен на усилители тона и усилитель покоя.

Усилитель НЧ имеет отдельный выход (гнезда *Гн3* и *Гн4*), что позволяет использовать его отдельно от цветомузыкальной установки. В усилителе применена раздельная регулировка усиления нижних и верхних частот. Переменным резистором *R13* осуществляется подъем усиления в области верхних частот, а *R14* — завал в области нижних.

С усилителя НЧ сигнал поступает на *RC*-фильтры через переменный резистор *R15*, с помощью которого устанавливают необходимый уровень сигнала на входах усилителей тона. Каждый фильтр пропускает определенный спектр частот. Если сигнал на входе усилителя достаточно большой, то его можно подать непосредственно на усилители тона и покоя (переключатель *В2*).

Усилитель покоя собран на транзисторе *Т9*, включенном по схеме с общим эмиттером. Лампы *Л10—Л12* светятся только при отсутствии входного сигнала. Переменным резистором *R29* устанавливают необходимую яркость их свечения.

Когда звуковой сигнал поступает на базы транзисторов *Т6—Т8*, они открываются и загорается определенная группа ламп. Подстроечными резисторами *R18*, *R22*, *R26* регулируют коллекторные токи этих транзисторов, изменяя тем самым яркость свечения ламп.

Транзистор *Т8* усиливает сигналы частотой от 20 до

200 Гц, транзистор *Т7* — от 200 до 1000 Гц, а транзистор *Т6* — свыше 1 кГц. Все три транзистора включены по схеме с общим эмиттером.

Детали цветомузыкальной установки размещены на плате из текстолита размерами 160 × 80 × 2 мм. Монтаж может быть выполнен как печатным способом, так и навесным. Транзисторы *Т4*—*Т9* устанавливают на радиаторы и располагают вне платы.

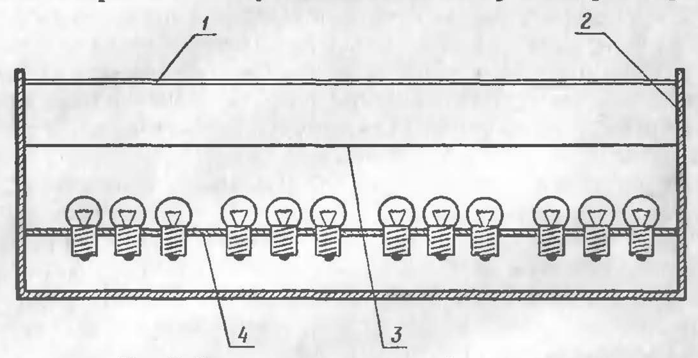


Рис. 2. Экран цветомузыкальной установки:
1 — экран; *2* — корпус; *3* — пергаментная бумага; *4* — панель с лампами

Радиаторы изготовлены из листового алюминия толщиной 1,5—2 мм. Для транзисторов *Т4* и *Т5* площадь радиаторов должна быть не менее 24 см², а для транзисторов *Т6*—*Т9* — не менее 36 см².

Все постоянные резисторы, кроме *R1*,— типа МЛТ или ВС. Резистор *R1* — типа ОПЭВ-20. Переменные резисторы — типа СПО-0,5. Электролитические конденсаторы — К50-6. Конденсаторы *С7* и *С8* — КЛС.

Трансформатор *Тр1* выполнен на сердечнике из трансформаторной стали Ш20, толщина набора 30 мм. Первичная обмотка содержит 2200 витков провода ПЭВ-2 0,1, вторичная — 120 витков провода ПЭВ-2 0,9.

Вся установка размещена в корпусе от трехпрограммного громкоговорителя «Аврора». Экран выполнен отдельно. Его размеры 300 × 200 мм. Он изготовлен из органического стекла молочного цвета толщиной 2—3 мм. Лампы укреплены на алюминиевой панели на расстоянии 50—100 мм от экрана (рис. 2). Между лампами и экраном установлен рассеиватель из пергамента. В конструкции можно использовать лампы от карманного фонаря на напряжение 3,5 или 2,5 В, но все лампы должны быть одного типа. Окрашивать их лучше всего цветным цапонлаком. Если такого нет, то можно в бесцветном лаке развести пасту от шариковых ручек.

Налаживание цветомузыкальной установки начинают с блока питания. Напряжение на выходе выпрямителя должно быть 11—13 В. Затем проверяют усилитель НЧ. Для этого переключателем *В3* отключают усилители тона и покоя. К гнездам *Гн3* и *Гн4* подключают громкоговоритель мощностью 0,5—1,5 Вт. На вход усилителя подают сигнал с генератора НЧ или непосредственно с приемника. Усиленный сигнал должен быть слышен без искажений. Необходимый тон звучания подбирается резисторами *R13* и *R14*.

После этого приступают к налаживанию усилителей тона. Движки подстроечных резисторов *R15*, *R18*, *R22*, *R26*, *R29* первоначально должны находиться в среднем положении. Резисторами *R18*, *R22* и *R26* добиваются такого режима транзисторов, при котором лампы *Л1*—*Л9* находятся на пороге зажигания. Резистором *R29* добиваются максимальной яркости свечения ламп *Л10*—*Л12*.

Затем на вход усилителя со звукового генератора подают сигнал частотой 30—50 Гц (движок подстроечного резистора *R15* должен находиться в нижнем по схеме положении) и резистором *R24* добиваются свечения только красных ламп. Затем увеличивают частоту до 300—800 Гц. Переменным резистором *R20* добиваются свечения ламп *Л4*—*Л6*. И, наконец, повышают частоту сигнала до 1200—1500 Гц. Подбирая резистор *R16*, добиваются свечения голубых ламп. В тот момент, когда на входе усилителя есть сигнал, лампы *Л10*—*Л12* не должны гореть.

ГЕНЕРАТОР НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Э. Парв

Генератор низкой частоты, принципиальная схема которого приведена на рисунке, предназначен для налаживания различной радиоэлектронной аппаратуры. Его рабочий частотный диапазон от 20 Гц до 180 кГц разбит на пять поддиапазонов. Неравномерность частотной характеристики — не более 1%. Коэффициент нелинейных искажений — 1%. Ступенчатый аттенюатор уменьшает величину выходного напряжения в 10 и 100 раз. Диапазон изменения напряжения — от 0 до 10 В. Погрешность аттенюатора — не более 2%.

Генератор представляет собой двухкаскадный усилитель, выполненный на лампе 6Н1П, с положительной обратной связью (с анода правой половины лампы *Л1* на сетку левой половины через формирующие *RC*-цепи). Для стабилизации генерируемых колебаний используют цепь отрицательной обратной связи, состоящую из резисторов *R11*, *R12* и ламп *Л3—Л5*. Глубину отрицательной обратной связи регулируют с помощью подстроечного резистора *R11*.

С анода правой половины лампы *Л1* сигнал поступает сначала на катодный повторитель (*Л2*), а затем на аттенюатор. Уровень выходного напряжения изменяют переменным резистором *R19*, а контролируют электронным вольтметром, собранным на транзисторах *Т1* и *Т2* по схеме с непосредственной связью.

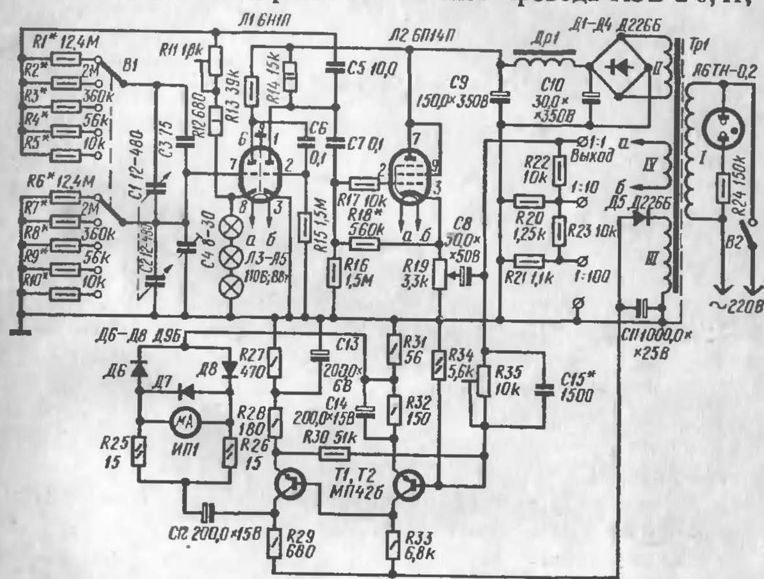
Генератор питается от выпрямителя, выполненного на диодах *Д1—Д4*. Питание электронного вольтметра осуществляется от однополупериодного выпрямителя (диод *Д5*).

Конструктивно прибор смонтирован в металлическом корпусе. На квадратной алюминиевой панели размещают элементы генератора. Трансформатор, дроссель, конденсаторы

фильтра, блок переменных конденсаторов прикрепляют непосредственно к дну корпуса.

Электронный вольтметр собран на печатной плате, которую размещают вблизи микроамперметра.

Трансформатор *Тр1* выполнен на сердечнике Ш25 × × 35. Обмотка *I* содержит 1015 витков провода ПЭВ-2 0,41;



Принципиальная схема генератора низкой частоты

обмотка *II* — 1104 витка провода ПЭВ-2 0,33; обмотка *III* — 65 витков провода ПЭВ-2 0,4; обмотка *IV* — 30 витков провода ПЭВ-2 0,9.

Для налаживания генератора необходимы осциллограф, частотомер (или образцовый генератор) и ламповый вольтметр.

Сначала проверяют наличие питающих напряжений. Затем, контролируя по осциллографу, переменным резистором *R11* добиваются получения на выходе генератора напряжения синусоидальной формы. Подбирая сопротивление резистора *R18*, добиваются наименьших искажений и наибольшей амплитуды выходного сигнала. Далее приступают к уточнению сопротивлений резисторов *R1—R10*, для чего к осциллографу подключают образцовый и настраиваемый генераторы. По фигурам Лиссажу определяют границы

поддиапазонов, добиваются перекрытия всего частотного диапазона. После этого дополнительно проверяют генерацию на всех поддиапазонах, наблюдая за показаниями лампового вольтметра. Амплитуда выходного сигнала должна изменяться незначительно.

В последнюю очередь налаживают электронный вольтметр. На выходе генератора устанавливают сигнал частотой 1000 Гц и амплитудой 5 В. Переменным резистором *R35* устанавливают стрелку измерительного прибора *ИП1* на отметку шкалы, соответствующую величине выходного напряжения. Затем генератор перестраивают на частоту 100 кГц и подбором конденсатора *C15* добиваются тех же показаний микроамперметра.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ ХАРАКТЕРИОГРАФ

А. Сапьников

Универсальный демонстрационный характериограф предназначен для использования в учебных целях при изучении характеристик различных электровакуумных и полупроводниковых приборов.

Исследуемые приборы (лампы 6Х2П, 6Н1П, 6Ж2П, 6К4П, диоды Д226Б, АИ201Б, КС168А, транзисторы КТ602Б, МП26Б, КП102, КП302) непосредственно включены в характериограф. Тетрод с ярко выраженным динатронным эффектом получается из пентода 6Ж2П путем соединения защитной сетки с анодом.

Характериограф позволяет получать на экране осциллографа вольт-амперные характеристики диодов, входные (сеточные, базовые), управляющие (анодно-сеточные, коллекторно-базовые, стоко-затворные), выходные (анодные, коллекторные, стоковые) характеристики усилительных элементов, характеристики тока экранной сетки пентодов. Имеется возможность получать как статические, так и динамические характеристики, соответствующие разным величинам сопротивления активной нагрузки в выходной цепи усилительных элементов.

Все упомянутые характеристики усилительных элементов, кроме сеточных и анодно-сеточных характеристик ламп, получаются в виде семейства из четырех характеристик.

В общем случае для получения семейства любых характеристик усилительного элемента необходимо иметь два источника переменных напряжений: генератор развертывающего напряжения (ГРН) и генератор ступенчатого напряжения (ГСН). На выходе ГРН должно быть напряжение, плавно изменяющееся в заданном интервале значений. Форма развертывающего напряжения существенного значения не имеет, поскольку она влияет лишь на равномерность яркости осциллограммы.

Для получения семейства из четырех характеристик необходимо сформировать в ГСН ступенчатое напряжение с четырьмя уровнями. Ступенчатое и развертывающее напряжения должны быть синфазны, а длительность каждой ступени должна быть равна интервалу изменения развертывающего напряжения от минимального значения до максимального.

Вход *X* осциллографа должен подключаться к тому электроду исследуемого прибора, на который подается развертывающее напряжение, а вход *Y* — к резистору, включенному в цепь электрода, характеристика тока которого должна быть получена на экране осциллографа.

Принципиальная схема характериографа приведена на рис. 1 (с. 18—20). В качестве развертывающего напряжения используется либо синусоидальное напряжение частотой 50Гц (при снятии вольт-амперных характеристик диодов, сеточных и анодно-сеточных характеристик ламп в тех случаях, когда требуется двухполярное развертывающее напряжение), либо напряжение, получаемое в результате двухполупериодного выпрямления. Первое напряжение снимается с обмоток *16—17* и *20—21* трансформатора *Тр1*, второе — с диодов *Д9—Д12*, *Д13—Д16*, *Д25—Д28*.

Генератор ступенчатого напряжения построен по схеме сложения двух меандров, сдвинутых по фазе относительно друг друга на четверть периода. Меандры формируются из синусоидального напряжения с помощью ограничителей, выполненных на стабилитронах *Д21—Д23*. Фазовый сдвиг между ними обеспечивается цепью *C6*, *R8*, *C7*, *R9*, а их суммирование происходит в эмиттерном повторителе (транзистор *T1*). Стабилитрон *Д24* позволяет установить на базе транзистора *T1* такое напряжение, при котором ступенчатое напряжение проходит через эмиттерный повторитель без отсечки. Регулируя ток, протекающий через диод *Д24*, с помощью резистора *R7* можно точно установить нулевой

Тр1

Д1–Д4 R2 15k

R1 10k

C1 50,0×400В

C2 50,0×400В

Пр1

ИП2

Д5–Д8 R4 47k

R3 12k

ИП1

C3, C4 50,0×250В

R5 20

R14 20

Д9–Д12

Д13–Д16

В2а

Р1 R13 1k

C5 2000×50В

R6 100

Р1/1

Р1/2

Р3/1

Р3/2

Пр2

~ сеть

Д17–Д20 R7 10k

R9 3k

T1 ГТ403

C6, C7 1,0

Д21 КС168А

Д22 КС168А

Д23 КС168А

R8 3k

R11 22k

R10 3k

Д24 КС147А

Р3

R15 1k

В1

Д25–Д28

В2
- Диоды
- Лампы
- п-р-п
- р-п-р
- п-канал
- р-канал

В15а

Л6 ~6,3В

В15
- I(U)-диоды
- $I_{вх}(U_{вх})$
- $I_{вых}(U_{вх})$
- $I_{вых}(U_{вых})$
- $I_{c2}(U_{a})$

Д1–Д28 Д226

R12 1k

Р2

В16

Р2/1

$\pm U_c$ $-U_c$

В2б

„Нагрузка"

R16 10k

В2в

R23 10k

R17 69k R18 69k

В15б

В15в

В15г

R26 750

$\Delta i_б = 100$ мкА, $\Delta U_c = 1В$

$\Delta i_б = 50$ мкА, $\Delta U_c = 0,5В$

R19 27k

„Установка нуля"

„Измерения"

В8

„X" Гн2

„У" Гн1

а б в г д е ж з и к

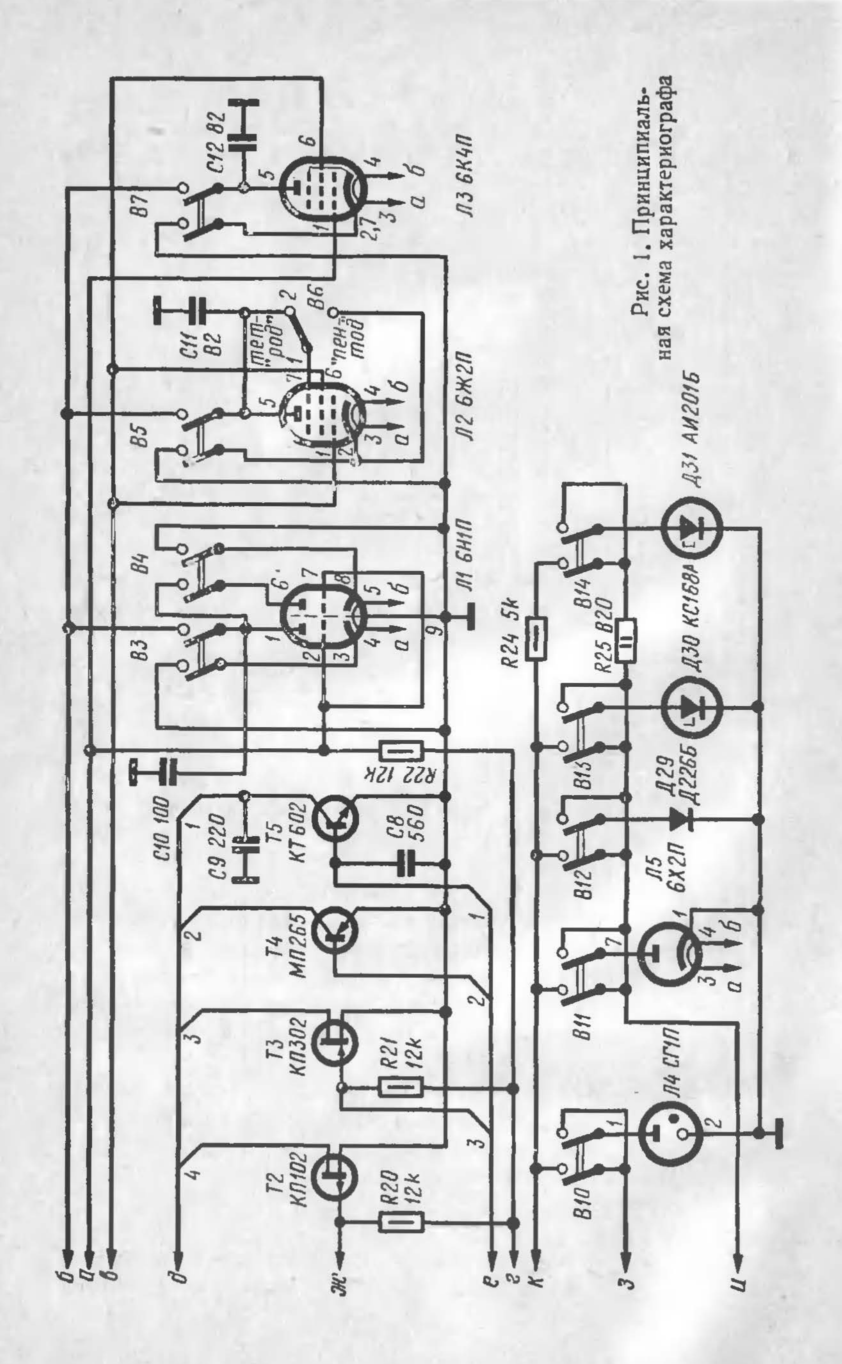


Рис. 1. Принципиальная схема характериографа

уровень верхней ступеньки на выходе ГСН (на резисторе *R11*). Питание ГСН осуществляется от отдельного выпрямителя (диоды *Д17—Д20*, резистор *R6*, конденсатор *C5*), изолированного от корпуса. Это позволяет легко менять полярность ступенчатого напряжения на выходе ГСН.

Управление характериографом осуществляется двумя переключателями рода работ *B2* и *B15*, тумблерами *B3—B7*, *B9—B14*, *B16* и *B8*, реле *P1—P3*, обмотки которых питаются от выпрямителя ГСН. С помощью переключателя *B2* и тумблеров *B3*, *B5—B7*, *B10—B14* осуществляется выбор прибора, характеристики которого требуется получить на экране осциллографа. Выбор нужного семейства характеристик производится переключателем *B15*.

Схема коммутации построена таким образом, чтобы исключить возможность перегрузки как ГСН и ГРН, так и исследуемых приборов при любых произвольных положениях органов управления характериографом. Благодаря этому, а также сравнительно простой схеме характериографа, содержащей всего лишь один усилительный элемент — транзистор *T1*, достигается высокая надежность работы.

Тумблер *B9* служит для установки одной из двух возможных комбинаций уровней ступенчатого напряжения на входах ламп и полевых транзисторов через 0,5 или 1 В или соответственно через 50 или 100 мкА. На коллекторы и стоки транзисторов подается напряжение, которое изменяется через 7 В. Полярность ступенчатого напряжения и тока, соответствующая типу подключаемого прибора, устанавливается автоматически.

При снятии сеточных и анодно-сеточных характеристик электровакуумных усилительных элементов (*Л1—Л3*) на их аноды и экранные сетки подаются постоянные напряжения от отдельных выпрямителей, выполненных на диодах *Д1—Д4* и *Д5—Д8*. Изменение величины этих напряжений осуществляется переменными резисторами *R2* и *R4*, а контроль — вольтметрами *ИП1* и *ИП2*.

Тумблером *B4* осуществляется параллельное включение двух триодов лампы *Л1*. Устанавливая тумблер *B6* в верхнее по схеме положение, преобразуют пентод 6Ж2П в тетрод с сильно выраженным динатронным эффектом.

Нагрузкой исследуемых ламп и транзисторов является переменный резистор *R16*.

С помощью тумблера *B16* на сетки ламп можно подавать развертывающее напряжение либо двухполярное, изменяю-

щееся в интервале от —6 до +2 В, либо однополярное, изменяющееся в интервале от 0 до —4 В.

Для работы с характериографом требуется осциллограф с усилителями постоянного тока в каналах вертикального и горизонтального отклонения электронного луча. Удобно пользоваться осциллографом типа С1-16, в котором предусмотрена возможность подключения усилителя постоянного тока вертикального отклонения луча первого канала к горизонтально отклоняющим пластинам второго канала. Имеющийся в этом осциллографе калибратор напряжения позволяет определить масштабы получающихся характеристик по обеим осям (напряжения и тока).

Входы *X* и *Y* осциллографа подключаются к гнездам *Гн1* и *Гн2* характериографа. Масштаб по оси токов связан с масштабом по оси напряжений соотношением $I = U/20$.

Трансформатор выполнен на сердечнике Ш28 × 35. Основные намоточные данные приведены в таблице.

Обмотка	Число витков	Диаметр провода, мм	Напряжение, В
1—2	630	0,41	220
3—4	700	0,18	240
5—6	490	0,18	170
7—8	46	0,18	16
9—10	46	0,18	16
11—12	100	0,25	36
13—14	690	0,18	240
14—15	230	0,18	80
16—17	460	0,18	160
18—19	18	0,86	6,3
20—21	82	0,18	29

В качестве переключателей *В2* и *В15* использованы малогабаритные переключатели П2Г. Реле *Р1—Р3* — типа РЭС-9 (паспорт РС4.524.200) или им подобные. Конденсаторы *С6* и *С7* бумажные на рабочее напряжение не менее 200 В. Резисторы *R8—R10* состоят из четырех параллельно соединенных резисторов МЛТ-2 сопротивлением по 12 кОм каждый.

В качестве примера на рис. 2 представлены осциллограммы характеристик различных электровакуумных и полупроводниковых приборов, полученные с помощью описанного характериографа.

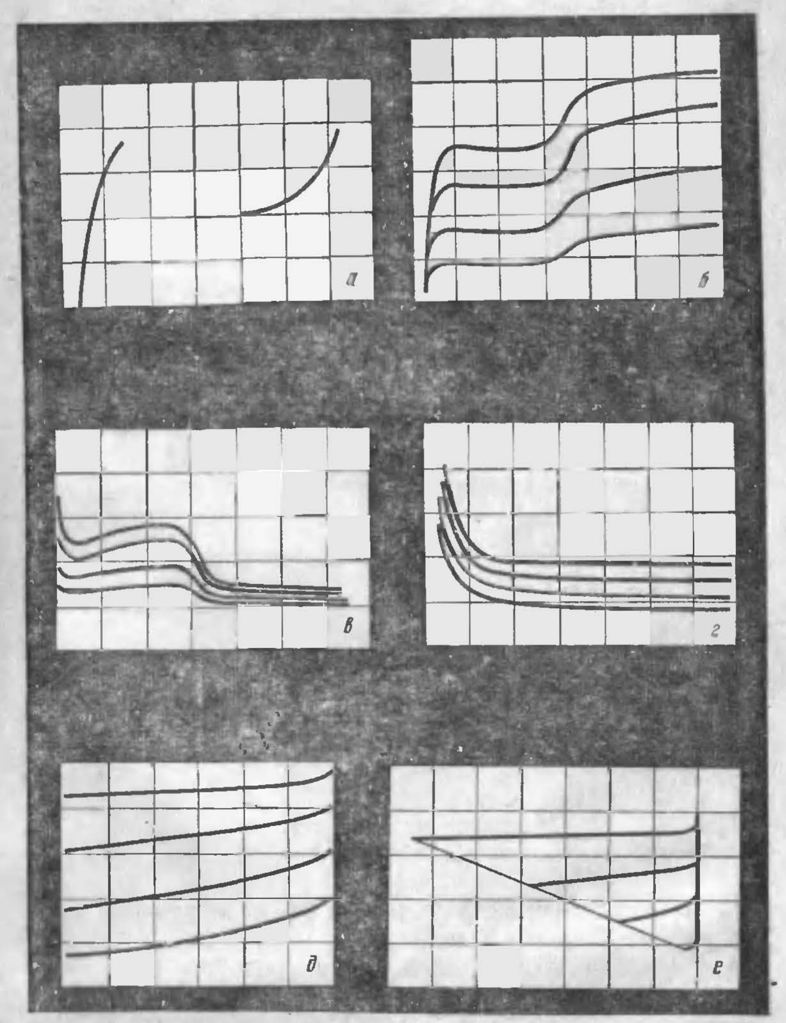


Рис. 2. Осциллограммы характеристик, полученных с помощью характериографа:

а — вольт-амперная характеристика туннельного диода АИ201Б; б, в — анодные характеристики и характеристики тока экранной сетки тетрода с проявлением динатронного эффекта; г — характеристика тока экранной сетки пентода 6К4П; д — коллекторные характеристики транзистора МП26Б; е — динамическая характеристика транзистора МП26Б

В заключение следует отметить, что описанный характериограф можно использовать не только для демонстрации характеристик включенных в него электровакуумных и полупроводниковых приборов, но и более широко — для получения характеристик любых маломощных ламп и любых транзисторов малой и средней мощности. Для этого нужно лишь снабдить характериограф панельками для установки этих приборов в соответствии с их цоколевкой.

ВХОДНЫЕ ДЕЛИТЕЛИ ОСЦИЛЛОГРАФОВ

Б. Шапуров

В осциллографических усилителях широкое распространение получили входные ступенчатые частотно-компенсированные делители, обеспечивающие постоянство коэффициента деления в широкой полосе частот. В основном используются два варианта делителей, схемы которых приведены на рис. 1.

В первом случае (рис. 1, *а*) получают делители с постоянным входным сопротивлением при разных коэффициентах деления, обеспечивающие раздельную компенсацию во всех ступенях делителя. Недостатками делителей, выполненных по этой схеме, являются громоздкость конструкции и появление значительных паразитных емкостей, что существенно увеличивает входную емкость усилителя.

Во втором случае (рис. 1, *б*) обеспечить одинаковое входное сопротивление на разных ступенях делителя нельзя. Однако при достаточно высокоомном входе это существенного значения не имеет. Конструкция получается значительно проще, содержит меньше деталей и, что самое главное, при рациональном монтаже возможно получение сравнительно небольшой входной емкости. Существенным недостатком делителя, выполненного по такой схеме, является то, что подстроечным конденсатором *C1* можно установить и обеспечить точность коэффициента деления только для одной ступени. В лучшем случае можно установить среднее значение, допуская небольшую погрешность деления для обеих ступеней. Особенно это ощущается при желании создать делитель с небольшими отношениями коэффициентов деления ступеней, например, 1 : 2, 1 : 3, 1 : 5. Поэтому выполнение делителей по такой схеме может быть рекомендовано лишь при небольшом количестве ступеней, например, 1 : 1, 1 : 10, 1 : 100. Подстроечным конденсатором *C1* по-

грешность деления распределяют между коэффициентами деления 1 : 10 и 1 : 100.

При расчете делителей обычно стремятся к тому, чтобы требуемые номиналы конденсаторов и резисторов соответствовали ряду, установленному ГОСТом, или по возможности незначительно отличались от стандартных значений. С этой целью проводится много пробных расчетов, из которых выбирается вариант наибольшего совпадения полученных значений емкостей и сопротивлений со шкалой, установленной стандартом. При стандартных значениях сравнительно легко могут быть изготовлены делители, погрешность которых не превышает 1 %, даже из деталей с допуском на номинале 10% при условии их дальнейшей стабильности.

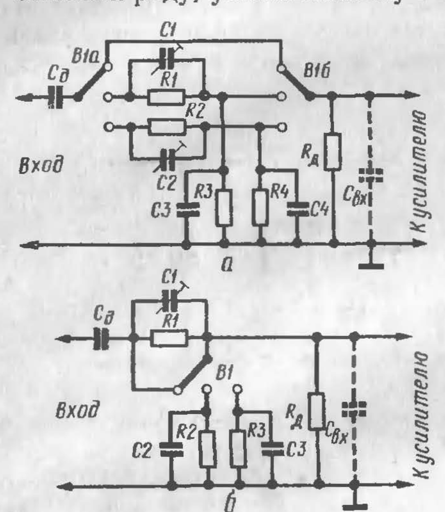


Рис. 1. Два варианта входных частотно-компенсированных делителей

В делителях коэффициент деления определяется не абсолютной величиной номинальных значений элементов, а соотношением плеч. Поэтому можно рекомендовать следующую методику.

Конденсаторы и резисторы, например с допуском ± 10%, сортируют по группам в пределах одного процента (—10%, —9%..., +9%, +10%). Для монтажа делителя используют детали только одной группы всех номинальных значений, входящих в плечи делителя. При этом одинаковость групп соблюдается отдельно для резисторов и конденсаторов. Так, например, резисторы группы —6% могут сочетаться с конденсаторами группы +9%.

При большом количестве ступеней в делителе, выполненном по схеме рис. 1, *б*, конденсатор *C1* целесообразно заменить конденсатором с фиксированным значением емкости, а подстроечный конденсатор с целью выравнивания входных емкостей в разных экземплярах приборов включить параллельно $R_д$, как показано на рис. 2.

Выбор коэффициентов деления плеч делителя зависит от общего коэффициента усиления осциллографа. Нецелесообразно коэффициент деления брать большим или даже равным коэффициенту усиления осциллографа, так как в этом случае получится не усиление, а ослабление сигнала. Сигнал лучше наблюдать путем непосредственной его подачи на отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки.

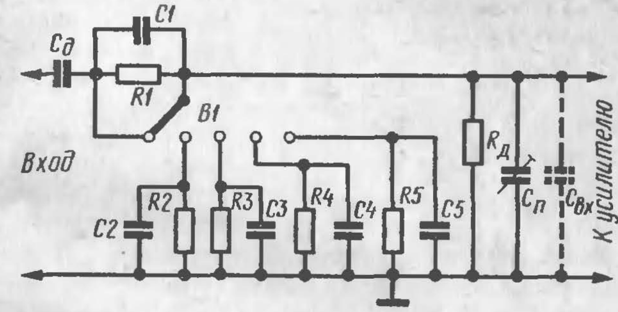


Рис. 2. Принципиальная схема частотно-компенсированного делителя

Их выводы, как правило, бывают выведены на отдельные зажимы или гнезда или коммутируются на вход прибора.

С точки зрения увеличения динамического диапазона осциллографа всегда следует уменьшать амплитуду сигнала входным делителем при максимальном сопротивлении регулятора плавного изменения усиления (обычно бывает включен после входного каскада). Но даже и в этом случае при большом отношении между ступенями делителя, например, 1 : 1, 1 : 10, 1 : 100 при некоторых амплитудах входного сигнала может наступить перегрузка каскадов, произойдет нежелательное искажение сигнала. Можно рекомендовать использование, особенно в усилителях вертикального отклонения, примерно трехкратного изменения входного сигнала, например, 1 : 1, 1 : 3, 1 : 10, 1 : 30, 1 : 100.

К входным цепям усилителей синхронизации и горизонтального отклонения требования обычно несколько ниже. Небольшие искажения сигнала синхронизации существенно не сказываются на нормальной работе осциллографа. Многие устройства имеют специальный низкоомный выход синхронизирующего сигнала. При сравнении частоты по фигурам Лиссажу на вход усилителя горизонтального отклонения обычно подают сигнал с измерительного генератора,

как правило, имеющего низкоомный выход и регулятор амплитуды сигнала. В ряде случаев для расширения возможностей осциллографа целесообразно на входе усилителя горизонтального отклонения включить делитель с коэффициентами деления 1 : 1, 1 : 10, 1 : 100.

Входные делители с коэффициентами деления бо́льшими, чем 1 : 100, создать весьма трудно из-за «пролезания» сигнала с большой амплитудой, минуя элементы делителя. Тщательное экранирование помогает мало, но зато значительно увеличивает входную емкость. Не случайно осциллографы, имеющие делитель с коэффициентом деления до 1 : 1000, обладают входной емкостью порядка 50 пФ.

Более целесообразным в этом случае является последовательное включение двух делителей, из которых первый делит, например, в отношении 1 : 10, а второй имеет ступени 1 : 1, 1 : 3, 1 : 10, 1 : 30, 1 : 100. Такой делитель может быть выполнен в виде отдельной приставки, подключаемой к входному гнезду, или в виде щупа с встроенным в него делителем. Это дает возможность еще больше уменьшить входную емкость прибора. Емкость кабеля в этом случае учитывается как составная часть емкости плеча выносного делителя.

Большую роль играет конструктивное выполнение входных гнезд или зажимов осциллографа. Они должны не только удовлетворять требованию минимальной емкости, но и не иметь выступающих стержневых элементов, играющих роль антенн. На экране хорошо сконструированного осциллографа при «открытом» входе не видно изображения помехи частотой 50 Гц или любых других помех. Для этой цели предпочтительней использовать коаксиальные разъемы с несколько утолщенным центральным гнездом.

Экранирование входной части осциллографа лучше выполнить в виде экранированного отсека и ни в коем случае не применять экранированных проводов. Это допустимо только в низкоомных цепях. Включение коаксиального кабеля на входе прибора для подачи исследуемого сигнала также можно применять только при низкоомном источнике сигнала. Для согласования входного сопротивления осциллографа с волновым сопротивлением кабеля параллельно входу прибора включают резистор. Его сопротивление зависит от волнового сопротивления коаксиального кабеля.

В остальных случаях предпочтительнее подачу исследуемого сигнала производить обычным проводником как

можно меньшей длины даже при наличии в осциллографе коаксиальных гнезд для подключения кабеля. Соединение с корпусом прибора в этом случае также производится отдельным проводником небольшой длины.

При измерениях оператор не должен касаться руками соединительного проводника. Проводник следует припаивать к исследуемой точке или подключать с помощью зажима «крокодил».

Расчет ступенчатых частотно-компенсированных делителей хорошо изложен в книге В. Л. Крайзера «Видеоусилители» (М., «Советское радио», 1952).

На рис. 2 приведена схема ступенчатого частотно-компенсированного делителя с большим количеством ступеней. Включение подстроечного конденсатора $C_п$ приводит к одинаковым значениям входной емкости $C_{вх}$ в любом положении переключателя.

Применительно к обозначениям рис. 2 и, считая, что емкость $C_п$ входит в емкость $C_{вх}$, в ступенях делителя должны быть соблюдены условия:

$$R1C1 = \frac{R2R_д}{R2 + R_д}(C2 + C_{вх}),\quad R1C1 = \frac{R3R_д}{R3 + R_д}(C3 + C_{вх}),$$

$$R1C1 = \frac{R4R_д}{R4 + R_д}(C4 + C_{вх}),\quad R1C1 = \frac{R5R_д}{R5 + R_д}(C5 + C_{вх}).$$

При расчетах удобно коэффициент деления выражать целыми числами, например, деление в 10 раз или 100 записывать как К=10, К=100, тогда:

$$K_1 = \left(R1 + \frac{R2R_д}{R2 + R_д}\right) : \frac{R2R_д}{R2 + R_д},$$

$$K_2 = \left(R1 + \frac{R3R_д}{R3 + R_д}\right) : \frac{R3R_д}{R3 + R_д},$$

$$K_3 = \left(R1 + \frac{R4R_д}{R4 + R_д}\right) : \frac{R4R_д}{R4 + R_д},$$

$$K_4 = \left(R1 + \frac{R5R_д}{R5 + R_д}\right) : \frac{R5R_д}{R5 + R_д}.$$

Соответственно деление емкостей может быть записано:

$$K_1 = \frac{C1 + C2 + C_{вх}}{C1},\quad K_2 = \frac{C1 + C3 + C_{вх}}{C1},$$

$$K_3 = \frac{C1 + C4 + C_{вх}}{C1},\quad K_4 = \frac{C1 + C5 + C_{вх}}{C1}.$$

При расчете делителей обычно бывают заданными входное сопротивление $R_д$, входная емкость $C_{вх}$ (в нашем случае в сумме с емкостью выравнивающего конденсатора $C_п$) и коэффициент деления. Для практических расчетов всегда

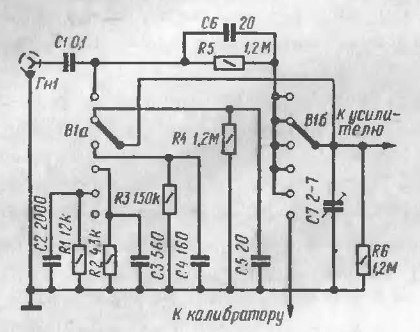


Рис. 3. Принципиальная схема входной части усилителя вертикального отклонения

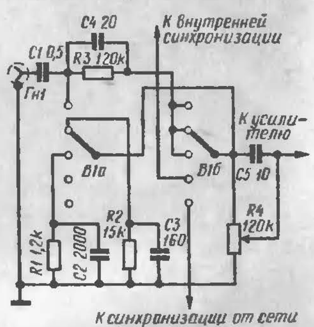


Рис. 4. Принципиальная схема входной части усилителя синхронизации и горизонтального отклонения

можно принять равными величины сопротивлений $R_д$ и $R1$ и емкостей $C1$ и $C_{вх}$. Тогда:

$$K_1 = \frac{R1 + 2R2}{R2},\quad K_2 = \frac{R1 + 2R3}{R3},\quad K_3 = \frac{R1 + 2R4}{R4},$$

$$K_4 = \frac{R1 + 2R5}{R5} \text{ и } K_1 = \frac{2C1 + C2}{C1},\quad K_2 = \frac{2C1 + C3}{C1},$$

$$K_3 = \frac{2C1 + C4}{C1},\quad K_4 = \frac{2C1 + C5}{C1}.$$

Поскольку сопротивление $R1$ принято равным $R_д$, а $C1$ равным $C_{вх}$, то $R1$ и $C1$ можно считать заданными. Необходимо только, исходя из требуемого коэффициента деления, определить второе плечо делителя:

$$R2 = \frac{R1}{K_1 - 2},\quad R3 = \frac{R1}{K_2 - 2},\quad R4 = \frac{R1}{K_3 - 2},\quad R5 = \frac{R1}{K_4 - 2};$$

$$C2 = C1\,(K_1 - 2),\quad C3 = C1\,(K_2 - 2),\quad C4 = C1\,(K_3 - 2),$$

$$C5 = C1\,(K_4 - 2).$$

В общем случае:

$$R_n = \frac{R_д}{K_{n-1} - 2} \text{ и } C_n = C_{вх}\,(K_{n-1} - 2).$$

Приведенные формулы очень удобны для практических расчетов, особенно при необходимости проведения ряда пробных расчетов для подбора резисторов и конденсаторов с максимальным приближением к стандартным значениям. Однако не следует забывать, что они пригодны только при условии соблюдения указанных выше ограничений и условий.

При $K = 2$ устанавливать отдельные резистор и конденсатор не нужно. Их роль будут выполнять соответственно $R_д$ и $C_{вк}$.

Расчет конденсаторов и резисторов ведется раздельно, при этом автоматически обеспечивается равенство постоянных времени верхнего и нижнего плеч делителя, что является обязательным условием широкополосности.

Для радиолюбителей могут представить интерес схемы, изображенные на рис. 3 и 4. На рис. 3 приведена схема входной части усилителя вертикального отклонения, а на рис. 4 — усилителя синхронизации и горизонтального отклонения. Необходимость коммутации калибрационного сигнала на вход усилителя и отключения при этом входа осциллографа несколько усложнила схему, однако входная емкость не превышала 20 пФ.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

А. Коробков

Наиболее распространенным типом регулятора частоты вращения электродвигателей в устройствах звукозаписи и воспроизведения до настоящего времени является центробежный регулятор. Он обеспечивает стабилизацию частоты вращения с точностью ± 2% при изменении питающего напряжения и нагрузки на валу электродвигателя в широких пределах. Изменение температуры оказывает незначительное влияние на качество его работы. По сравнению с другими типами регуляторов он отличается и повышенным к. п. д. Это обусловлено тем, что регулятор в зависимости от нагрузки на валу электродвигателя увеличивает или уменьшает средний ток, потребляемый от источника питания в

виде импульсов. Однако этим же определяется и повышенная интенсивность помех от электродвигателя. Надежность работы центробежного регулятора зависит главным образом от надежности замыкания его контактов.

При использовании транзисторных усилителей надежность существенно повышается из-за уменьшения тока, коммутируемого контактами, но и в этом случае их работа часто нарушается из-за загрязнения контактирующих поверхностей. Нарушению нормальной работы контактов способствует и то, что питание электродвигателя в большинстве случаев осуществляется от источника со сравнительно невысоким напряжением, которого оказывается недостаточно для пробоя тонкой изолирующей пленки, образующейся на контактирующих поверхностях. В результате этого после очередного размыкания контактов частота снижается до тех пор, пока не произойдет электрическое соединение контактов прерывателя в результате увеличения давления между ними.

Надежность работы центробежного регулятора можно повысить, если воспользоваться схемой, изображенной на рис. 1. Каскад, выполненный на транзисторе *Т2*, уменьшает ток, протекающий через контакты. Использование такого каскада в регуляторах общеизвестно. Каскад на транзисторе *Т1* повышает напряжение между контактами после их размыкания.

Рассмотрим работу этого каскада. При замыкании контактов центробежного регулятора конденсатор *С1* начинает заряжаться через диод *Д1* и транзистор *Т1*. Он заряжается примерно до напряжения источника питания. При размыкании контактов транзистор *Т1* закрывается. Разность потенциалов между контактами оказывается равной сумме напряжений источника питания и заряда конденсатора, т. е. примерно удвоенному напряжению источника питания. При уменьшении зазора между контактами эта повышенная разность потенциалов способствует пробою изоляционной пленки на контактах.

Конденсатор *С2* служит для уменьшения помех от электродвигателя и обеспечения более или менее плавного возрастания и спада тока, протекающего через транзистор *Т2*. Диод *Д2* исключает влияние правого по схеме каскада на левый.

Диод *Д1* должен быть кремниевым для уменьшения разряда конденсатора *С1* в то время, когда контакты разомкнуты.

Тогда емкость конденсатора *С1* может быть сравнительно небольшой.

Перейдем к рассмотрению электронных регуляторов частоты вращения. По принципу действия их можно разделить на регуляторы, не содержащие каких-либо дополнительных датчиков частоты вращения, и регуляторы, содержащие их.

В последнее время большое распространение получают электронные регуляторы первого типа. Наибольшее применение они находят в кассетных магнитофонах. Нужно сразу оговориться, что все схемы регуляторов этого типа нельзя рассматривать отдельно от электродвигателя, так как величины сопротивлений резисторов, входящих в них, зависят от параметров электродвигателя, а качество работы — от стабильности его параметров. В таких регуляторах используются в основном электродвигатели с возбуждением от постоянных магнитов. Схемы регуляторов могут быть самыми разнообразными, несмотря на одинаковый принцип работы (см. ж-л «Радио», 1966, № 8). Наиболее простая схема регулятора получается при использовании транзисторов разной структуры.

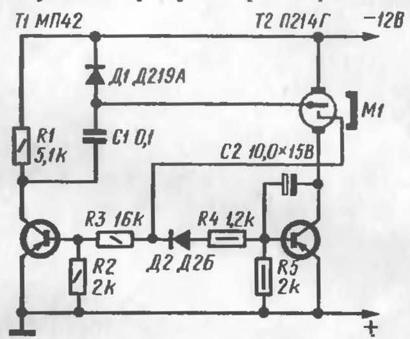


Рис. 1. Принципиальная схема регулирования частоты вращения микроэлектродвигателя с центробежным регулятором

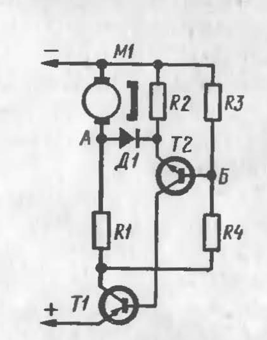


Рис. 2. Принципиальная схема регулятора частоты вращения микроэлектродвигателя с одним диодом в цепи эмиттера

На рис. 2 приведена схема регулятора, который находит наибольшее применение как в отечественных, так и в зарубежных кассетных магнитофонах. Разберем его работу и проанализируем, как будет изменяться частота вращения при изменении параметров электродвигателя. Для этого в схеме выделим ту часть, с помощью которой обеспечивается

регулирование именно частоты вращения, а не какого-нибудь другого параметра. Эта часть выполнена по мостовой схеме и включает в себя сам электродвигатель и резисторы *R1*, *R3*, *R4*.

Напряжение на электродвигателе равно:

$$U_{дв} = Kn + I_я R_я,$$

где $R_я$ — сопротивление обмотки якоря, включая сопротивление щетка — коллектор,

$I_я$ — ток якоря;

K — постоянная величина для конкретного электродвигателя;

n — частота вращения.

Напряжение в диагонали моста между точками *А* и *Б* равно:

$$U_{АБ} = \frac{R1}{R_я + R1} Kn, \quad \text{если} \quad \frac{R1}{R_я} = \frac{R4}{R3}.$$

Причем знак «плюс» будет в точке *А*.

Благодаря диоду *Д1*, потенциал на эмиттере транзистора *Т2* становится более отрицательным, чем потенциал точки *А*, на величину падения напряжения на диоде. В момент подачи напряжения питания ($n = 0$) напряжение между точками *А* и *Б* равно нулю и ток базы транзистора *Т2* максимален.

При разгоне электродвигателя потенциал точки *А* повышается и по достижении определенной частоты вращения ток базы транзистора *Т2* уменьшается до величины, необходимой для стабилизации. Если обозначить (для схемы на рис. 2) напряжение на диоде через $U_д$, а напряжение между базой и эмиттером транзистора *Т2* через $U_{бэ}$, то можно написать с учетом знаков соотношение, отражающее связь частоты вращения с этими напряжениями:

$$U_{АБ} = U_д + U_{бэ} \quad \text{или} \quad \frac{R1}{R_я + R1} Kn = U_д + U_{бэ}.$$

Небольшое увеличение или уменьшение частоты вращения приводит соответственно к резкому уменьшению или увеличению базового тока транзистора *Т2*, это в свою очередь вызывает уменьшение или увеличение напряжения на электродвигателе, а следовательно, уменьшение или увеличение частоты его вращения. Полученное выражение имеет практическое значение и может использоваться при расчете регулятора с конкретным электродвигателем.

Рассмотрим влияние, которое оказывает на частоту вращения изменение сопротивления якоря. Сопротивление якоря слагается из сопротивления самого якоря и переходных сопротивлений щетка — коллектор. На рис. 2 видно, что ток якоря равен:

$$I_я = \frac{U_р - Kn}{R_я + R1},$$

где $U_р$ — напряжение, регулирующее режим работы электродвигателя.

Небольшое приращение сопротивления $\Delta R_я$ вызывает уменьшение этого тока на величину $\Delta I_я$:

$$\Delta I_я \cong -(U_р - Kn)\frac{\Delta R_я}{(R_я + R1)^2}.$$

Или с учетом предыдущей формулы:

$$\Delta I_я = -I_я \frac{\Delta R_я}{R_я + R1}.$$

Приращение сопротивления якоря уменьшает ток тем меньше, чем больше общее сопротивление в его цепи. Уменьшение тока якоря приводит к уменьшению потенциала в точке *А*, а значит, и напряжения $U_{АБ}$. Это уменьшение равно $\Delta U_{АБ}$:

$$\Delta U_{АБ} = -I_я \frac{\Delta R_я}{R_я + R1} R1.$$

Обозначим выражение $\frac{R1}{R_я + R1}$ через α. Окончательно получим для этой схемы регулятора, что:

$$\alpha Kn = U_д + U_{бэ} \quad \text{и} \quad \Delta U_{АБ} = -\alpha I_я \Delta R_я.$$

Таким образом, изменение сопротивления якоря приводит к появлению ошибки, а усилитель обратной связи изменяет напряжение $U_р$ так, чтобы напряжение $U_{АБ}$ снова стало равно первоначальной величине. Это и является причиной изменения частоты вращения якоря несмотря на то, что и напряжение питания, и нагрузка на валу электродвигателя постоянны. Относительное изменение частоты вращения равно:

$$\delta_n = \frac{\Delta n}{n} = \frac{\Delta U_{АБ}}{U_{АБ}} = \frac{I_я \Delta R_я}{Kn}.$$

Интересно отметить, что анализ схемы регулятора, опубликованный в журнале «Радио» № 8 за 1966 г., приводит к

тому же результату. Таким образом, произвольное изменение частоты вращения электродвигателя с подобными регуляторами не зависит от схемы и обусловливается только электродвигателем, а именно непостоянством переходных сопротивлений между щетками и коллектором.

В таблице приведены результаты испытаний электродвигателей нескольких типов при различных частотах вращения. Испытания проводились при стабильном питающем напряжении и постоянной нагрузке на валу электродвигателя, причем ток устанавливался в интервале 100 ± 5 мА, за исключением двигателя ДП-1-26, у которого он был равен 200 мА.

Средняя частота вращения, об/мин	Относительное отклонение частоты вращения от средней величины, %			
	ДПМ-30-Н1-02	ДПМ-25-Н1-02	Д-368	ДП-1-26
680	3,5	3,5	1,06	—
1140	2,35	3,0	0,7	—
1600	1,65	2,2	0,45	5,5
2000	1,32	1,3	0,36	5,0
3500	—	—	—	2,7
5000	—	—	—	2,5

Из таблицы видно, что относительный уход частоты электродвигателя Д-368 много меньше, чем у остальных. Это обусловлено тем, что двигатель Д-368 имеет металлические щетки, в то время как другие — угольные. Из таблицы также видно, что относительное изменение частоты вращения уменьшается при повышении средней частоты. Это согласуется с полученным выше выражением для относительной нестабильности и говорит о том, что величина изменения сопротивления якоря $\Delta R_я$ слабо зависит от частоты вращения. Изменение величины тока якоря, как оказалось, не увеличивает нестабильности в прямопропорциональной зависимости, как это получается из той же формулы. Однако при этом меняется сам характер случайного процесса во времени.

Вообще о характере процесса можно сказать, что он делает бесполезным использование каких-либо практически осуществимых фильтров, так как пиковые значения отклонений частоты вращения могут быть разнесены во времени на несколько секунд.

Главный недостаток регуляторов данного типа — сильная зависимость частоты вращения от температуры. Уход частоты обусловлен изменением ряда параметров регулятора. Сюда входят и резисторы *R1*, *R3*, *R4* и сопротивление якоря электродвигателя. Одна из причин связана с изменением напряжений $U_д$ и $U_{бэ}$.

Как известно, увеличение температуры на 1°С вызывает уменьшение напряжения на каждом из *p-n*-переходов примерно на 2—2,5 мВ (в зависимости от величины прямого тока). Если допустить указанную закономерность для диода и транзистора, то увеличение температуры на 1°С приведет к суммарному изменению напряжения на 0,5 мВ. Так как напряжение $U_д$ и $U_{бэ}$ действуют встречно, то сама сумма $(U_д + U_{бэ})$ будет составлять арифметическую разность этих напряжений и практически не превысит 0,3—0,4 В. Отсюда видно, что десятиградусное изменение температуры вызовет примерно полуторапроцентный уход частоты вращения. Включение диода *Д1* способствует повышению стабильности, так как с его помощью осуществляется компенсация изменения напряжения $U_{бэ}$. В целях лучшей стабилизации частоты вращения в широком диапазоне температур применяются дополнительные термозависимые элементы, включаемые в цепь базы транзистора *Т2*.

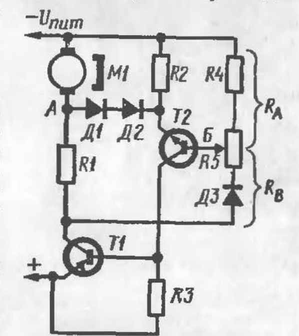


Рис. 3. Принципиальная схема регулятора частоты вращения микроэлектродвигателя с двумя диодами в цепи эмиттера и одним в цепи базы

Из предыдущих рассуждений легко прийти к выводу, что в цепи эмиттера транзистора *Т2* может быть не только один диод. Необходимость в двух и более диодах может возникнуть из-за желания получить более высокий коэффициент стабилизации или более высокую частоту вращения. В этих случаях в цепь базы транзистора *Т2* обязательно должны быть включены термозависимые элементы.

На рис. 3 приведена схема регулятора с двумя диодами в цепи эмиттера и одним в цепи базы транзистора *Т2*.

В общем случае формула, определяющая связь частоты вращения с параметрами регулятора, выглядит так:

$$\alpha K n = \Sigma U_{дэ} - U_{бэ} - (1 - \alpha) \Sigma U_{дб}$$

или

$$\alpha = \frac{\Sigma U_{дэ} - U_{бэ} - \Sigma U_{дб}}{Kn - \Sigma U_{дб}},$$

где $\Sigma U_{дб}$ и $\Sigma U_{дэ}$ — суммарные падения напряжения на диодах, включенных соответственно в цепь базы и эмиттера транзистора *Т2*.

Для расчета регулятора с конкретным электродвигателем необходимо знать параметры $R_я$, K и ток нагрузки. При выбранных типах транзистора и диодов и определенном количестве последних значение α находят по последней формуле. Если же требуется определить их количество, то производится расчет ряда значений α для разного количества диодов и из этого ряда значений выбирают такое, когда α находится в пределах 0,08—0,15. Увеличение α связано с возрастанием сопротивления резистора *R1*, на котором рассеивается часть потребляемой мощности. Уменьшение α приводит к снижению коэффициента стабилизации регулятора.

Если параметры электродвигателя K и $R_я$ неизвестны, то их можно определить из паспортных данных, в которые обычно входят напряжение питания $U_{дв}$, ток якоря при холостом ходе $I_{хх}$, частота вращения в режиме холостого хода $n_{хх}$, а также ток и скорость при номинальной нагрузке (соответственно $I_н$ и $n_н$).

Тогда:

$$K = U_{дв}\frac{\frac{I_н}{I_{хх}} - 1}{\frac{I_н}{I_{хх}} n_{хх} - n_н}, \quad R_я = \frac{U_{дв} - Kn_{хх}}{I_{хх}}.$$

Покажем методику расчета регулятора на конкретном примере. Допустим, нужно рассчитать регулятор на частоту вращения двигателя 1000 об/мин, в паспорте которого указано: $U_{дв} = 27$ В, $I_{хх} = 40$ мА, $n_{хх} = 5000$ об/мин, $I_н = 160$ мА, $n_н = 3800$ об/мин.

1. Находим значения K и $R_я$ электродвигателя. $K = 5 \cdot 10^{-3}\ \frac{В}{об/мин}$, $R_я = 50$ Ом.

2. Выбираем транзистор *Т2* (кремниевый с большим значением коэффициента $B_{ст}$) и определяем напряжение $U_{бэ}$ (по входным характеристикам транзистора). Берем, например, транзистор КТ312 ($B_{ст} = 25 \div 100$, $U_{бэ} = 0{,}25$ В).

3. Выбираем диоды *Д1* и *Д2*. При выборе этих диодов нужно исходить из того, чтобы прямое падение напряжения на диодах было больше, чем напряжение $U_{бэ}$ транзистора *Т2*.

В качестве диодов в цепи эмиттера выбираем стабилитроны типа Д808—Д814 в прямом включении. В цепи базы целесообразнее использовать германиевые точечные диоды, имеющие минимальное падение напряжения в прямом направлении. Пусть это будут диоды Д9Б.

4. Выбираем значение α.

Регулятор может быть выполнен в следующих вариантах:

а) без диода в цепи базы и одним диодом в цепи эмиттера, в этом случае α равна 0,07.

б) с одним диодом в цепи базы и двумя в цепи эмиттера, α равна 0,15;

в) с двумя диодами в цепи базы и тремя в цепи эмиттера, α равна 0,28.

Выбираем вариант *б*.

5. Находим сопротивление резистора *R1*. Оно равно 5,5 Ом.

6. Для дальнейшего расчета необходимо измерить ток якоря, который протекает при работе двигателя в данном устройстве и зависит от момента на валу электродвигателя. Допустим, что для нашего случая он будет равен 100 мА.

7. Определяем напряжение $U_р$ (см. рис. 2). Оно равно 10,5 В. Питающее напряжение должно быть на 1,5—3 В больше (12—13,5 В).

8. Выбираем тип транзистора *T1*. Транзистор должен иметь высокий коэффициент $B_{ст}$, а максимально допустимый ток коллектора должен быть не меньше, чем $\frac{U_{пит}}{R_я + R1}$. В нашем случае (при $U_{пит} = 13{,}5$ В) он получается равным 240 мА. Мощность, рассеиваемая транзистором, определяется по формуле:

$$P_к = (U_{пит} - U_р) I_я.$$

В нашем случае она равна 0,3 Вт. Этим требованиям удовлетворяет транзистор ГТ403 с любым буквенным индексом. Выбираем транзистор ГТ403 А.

9. Определяем сопротивление нижнего и верхнего плеч делителя (*R4R5Д3*). Сопротивление верхнего плеча делителя обозначим через R_A, а нижнего — R_B. Ток, протекающий через делитель $\left(I = \frac{U_р}{R_A + R_B}\right)$, должен быть в 10—20 раз больше тока базы транзистора *Т2* $\left(I_б = \frac{I_я}{B_{ст1}\, B_{ст2}}\right)$.

Отсюда находим:

$$R_A + R_B = \frac{B_{ст1}B_{ст2}U_p}{(10 \div 20)\, I_я}$$

После подстановки известных величин получаем, что сумма сопротивлений ($R_A + R_B$) равна 2,6—5,2 кОм. Так как при расчете коэффициенты $B_{ст1}$ и $B_{ст2}$ взяты по нижнему пределу, то можно считать, что суммарное сопротивление равно 5 кОм. При этом:

$$R_A = (1 - \alpha)(R_A + R_B), \quad R_B = \alpha (R_A + R_B),$$

т. е. $R_A = 4{,}1$ кОм, $R_B = 0{,}9$ кОм.

Как видно из рис. 3, сопротивление R_B включает в себя дифференциальное сопротивление диода *Д3*. При токе через делитель более 1 мА оно не превышает 50 Ом и при практических расчетах его можно не учитывать.

10. Определим сопротивление резистора *R2*. Ток, протекающий через него, складывается из тока эмиттера транзистора *Т2* $\left(I_{э2} = \frac{I_я}{B_{ст1}}\right)$ и тока, протекающего через диод *Д1* (для надежной работы регулятора должен быть не менее 2 мА). Если ток диода меньше 2 мА, увеличивается его дифференциальное сопротивление, что уменьшает крутизну зависимости тока коллектора от напряжения $U_{АБ}$. Падение напряжения на резисторе *R2* равно примерно напряжению на двигателе. Сопротивление резистора *R2* равно:

$$R2 = \frac{Kn + I_я R_я}{I_{д1,2} + \frac{I_я}{B_{ст1}}}.$$

Если задаться величиной тока $I_{д1,2}$, равной 2 мА, то сопротивление резистора будет равно 1,5 кОм.

Резистор *R3* целесообразно включать для повышения устойчивости работы регулятора, особенно при повышенной температуре. Однако практически его часто не ставят из-за того, что рабочее напряжение между коллектором и эмиттером транзистора *Т1* мало (в большинстве случаев не более 5 В).

В целях улучшения термостабильности всего регулятора можно изменять количество диодов в цепи базы транзистора *Т2*. Если при повышении температуры частота вращения уменьшается, количество диодов увеличивают, а если увеличивается — уменьшают.

В заключение следует сказать, что электродвигатель с этим регулятором образует гораздо меньше помех, чем с центробежным регулятором, что является весьма важным фактором для магнитофона. Использование электродвигателей с металлическими щетками позволяет добиться достаточно высокой стабильности частоты вращения.

Перейдем к рассмотрению электронных регуляторов с отдельными датчиками частоты вращения. Наиболее простые из них — двухтранзисторные — обеспечивают точность частоты вращения ± 1% при изменении питающего напряжения в широких пределах. Принцип работы таких регуляторов описывался в журнале «Радио» № 9 за 1963 г.

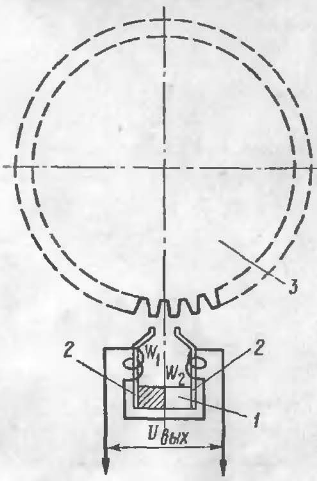


Рис. 4. Схематичное изображение ферромагнитного датчика

Работа этих регуляторов не связана с какими-либо параметрами электродвигателя, поэтому одна и та же схема может быть использована с разными электродвигателями. Их недостаток — необходимость в отдельных датчиках частоты вращения, которые являются, попросту говоря, генераторами переменного тока. В указанной выше литературе датчиком частоты вращения является диск с магнитными зубцами, рядом с которыми на магнитопроводе расположена катушка индуктивности. При вращении диска в ней наводится э. д. с.

Изготовление диска с магнитными зубцами — очень трудоемкая задача. Автором был изготовлен другой датчик, который описывается ниже. Схематично он показан на рис. 4.

Постоянный магнит *1* заключен между двумя изолированными частями магнитопровода *2*, на которых расположены две части обмотки w_1 и w_2. Верхние концы магнитопровода образуют магнитные выводы головки, взаимодействующие с зубцами диска *3*. Диск выполнен из магнитомягкого материала и является подвижной частью, частоту вращения которой регулируют. Ширина каждого зубца (по окружности) равна ширине магнитного вывода голов-

ки, а расстояние между двумя соседними зубцами — зазору между выводами (щели). Ширина щели в несколько раз больше ширины зубца. Это необходимо для того, чтобы увеличить отношение между максимальным и минимальным сопротивлениями в цепи источник э. д. с. (магнит) — магнитопровод головки — диск с обеспечением максимально возможной частоты датчика при определенной частоте вращения диска. Э. д. с. пропорциональна этому отношению.

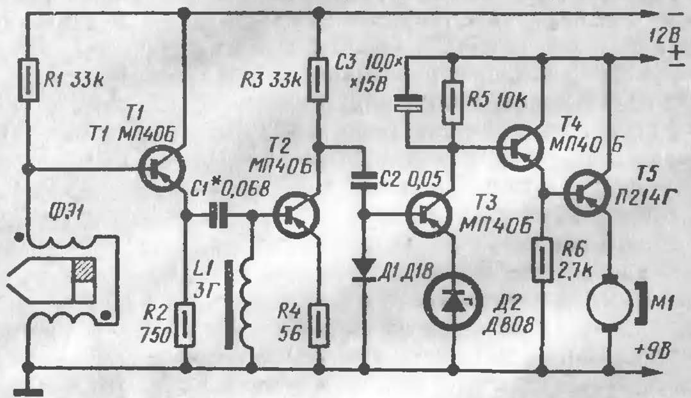


Рис. 5. Принципиальная схема регулятора частоты вращения микроэлектродвигателя с ферромагнитным датчиком

Регулятор частоты вращения с таким датчиком был использован в портативном магнитофоне, экспонировавшемся в 1968 году на Всесоюзной радиовыставке и получившем диплом II степени. Роль зубчатого диска в нем выполнял непосредственно маховик тонвала диаметром 90 мм (изготовлен из стали). По его окружности было расположено 148 зубцов шириной 0,5 мм, расстояние между зубцами 1,4 мм. Толщина маховика 5 мм.

Головка датчика имела постоянный магнит из сплава ЮНДК-24 цилиндрической формы диаметром 10 и длиной 10 мм (такой магнит имеет малогабаритный динамик 0,15ГД-1). Магнитопровод был выполнен из мягкого отожженного железа толщиной 1 мм, причем каждая половина имела две части, соединенные встык по всей длине обмоток w_1 и w_2. Одна часть соединялась с полюсом магнита, другая образовывала магнитный вывод головки. Высота магнитных выводов была несколько больше толщины маховика. Это делалось с целью упрощения стыковки головки и маховика по высоте. Каждая катушка имела по 3000 витков провода ПЭВ-2 0,05. При работе в режиме стабилизации в обмотке наводилась э. д. с. с частотой 1000 Гц.

Полная электрическая схема регулятора показана на рис. 5. Конденсатор *C1* и катушка индуктивности *L1* образуют простейший фильтр верхних частот, настроенный так, что наиболее крутой участок переходной характеристики фильтра лежит в области 1000 Гц. Между головкой и фильтром включен эмиттерный повторитель, способствующий повышению крутизны переходной характеристики. Транзистор *T2* ограничивает положительную часть синусоидального сигнала, подаваемого на его базу. В результате этого коллекторный ток транзистора носит импульсный характер. Пока не поступил очередной импульс, идет заряд конденсатора *C2* через резистор *R3* и базовую цепь транзистора *T3*. При поступлении импульса конденсатор *C2* разряжается через транзистор *T2*, резистор *R4* и диод *Д1*. Можно сказать, что средний базовый ток транзистора *T3* примерно равен среднему коллекторному току транзистора *T2*, который зависит от переменного напряжения на базе и частоты.

Транзистор *T3* усиливает токовые импульсы. За счет конденсатора *C3* ток, протекающий через резистор *R5*, оказывается сглаженным. Транзисторы *T4* и *T5* представляют последние ступени усилителя тока. Двигатель включен в эмиттерную цепь транзистора *T5*. В сравнении с регуляторами, в которых электродвигатель включен в коллекторную цепь, данный регулятор отличается более высокой надежностью, а электродвигатель работает от сравнительно «гладкого» напряжения.

В качестве практического совета для тех, кто будет использовать подобные регуляторы, нужно отметить необходимость обеспечения стабильности зазора между головкой и зубцами диска, так как от нее зависит величина сигнала на выходе датчика и изменение этой величины повлечет изменение частоты вращения. Кроме того, чтобы избежать вредных автоколебаний в контуре регулирования (произвольное колебание величины частоты вращения около среднего значения), которые могут возникнуть при большом коэффициенте усиления в цепи обратной связи, зубчатый диск желательно размещать непосредственно на валу электродвигателя. Это позволит избежать запаздывания сигнала об изменении частоты вращения электродвигателя из-за растягивания резинового пассика и инерционности маховика.

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ШАХМАТНЫЕ ЧАСЫ

В. Алимов

Цифровые шахматные часы предназначены для использования в соревнованиях по молниеносной игре в шахматы с установкой времени на три, пять и девять минут. В течение партии партнеры получают наглядную информацию об оставшемся времени с точностью до 1 с. Электронные часы полностью выполняют функции механических, обеспечивая при этом большую точность установки исходного времени и момента истечения его. Мощность, потребляемая электронными часами от сети, около 20 В · А.

Устройство и принцип действия часов рассмотрим по функциональной схеме (рис. 1). Часы состоят из двух счетчиков времени, выполненных по одинаковой схеме, генератора счетных импульсов (ГСИ), узлов сброса и коммутации, переключателя исходного времени и источника питания. В состав каждого счетчика входят три счетные декады и три цифровых индикатора, устройство выделения «нулей», свидетельствующее об истечении установленного времени, и ключевое устройство. Выполнение счетных декад по схеме релейных десятичных кольцевых счетчиков позволило непосредственно к ним подключить цифровые индикаторы без дешифраторов и ключевых схем, что значительно упростило схему часов.

После включения источника питания выключателем *В1* устройство остается обесточенным по цепи 36 В (за исключением ГСИ). Цифровой индикатор не светится, кроме запятых, используемых для подсвета надписей «*М*» (минуты) и «*С*» (секунды) и одновременно свидетельствующих о включении часов.

Установив переключателем исходного времени выбранную длительность партии, замыкаем кнопку *Кн3*. При этом

узел сброса и записи выдает сигналы на установку младших декад счетчиков времени в нулевое состояние, записи выбранного времени в старшие декады и установки в исходное состояние узла коммутации, выдающего запрещающие сиг-

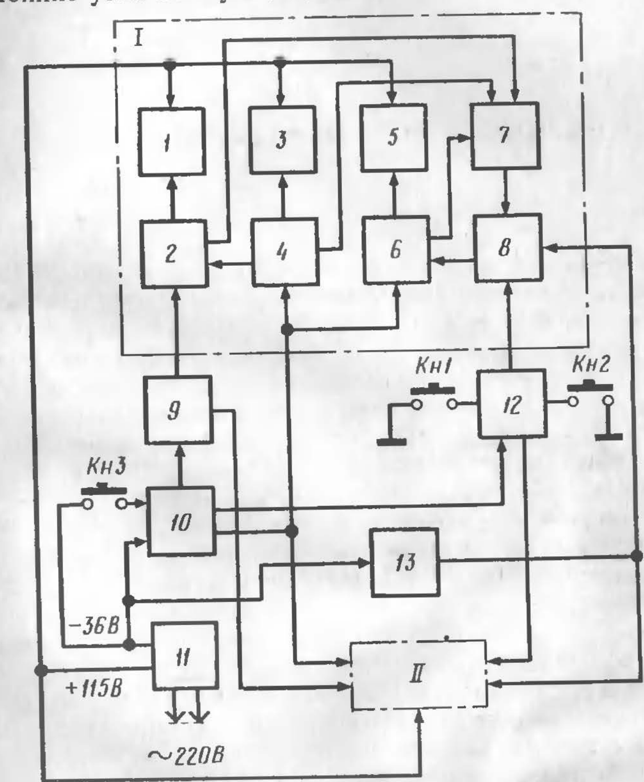


Рис. 1. *I* — первый счетчик времени; *II* — второй счетчик времени; *1, 3, 5* — цифровые индикаторы; *2, 4, 6* — счетные декады; *7* — устройство выделения «нулей»; *8* — ключевое устройство; *9* — переключатель исходного времени; *10* — узел сброса и записи; *11* — блок питания; *12* — узел коммутации; *13* — генератор счетных импульсов

налы на ключевые устройства. После размыкания кнопки *Кн3* на цифровых индикаторах высвечивается заданное время партии и устройство готово к действию.

При нажатии кнопки *Кн1* импульсы ГСИ поступают только на вход первой декады второго счетчика времени. И наоборот, при замыкании кнопки *Кн2* импульсы ГСИ про-

ходят только на вход первой декады первого счетчика времени. Период следования импульсов ГСИ — 1 с, а стабильность в нормальных условиях — не хуже 10^{-3} с.

Счетчики времени работают на вычитание. По истечении заданного времени при нулевом отсчете срабатывает устройство выделения «нулей». С его выхода на ключ поступает сигнал, препятствующий прохождению импульсов ГСИ, загорается индикаторная лампа. По окончании партии или в любой другой момент времени нажатием кнопки *Кн3* часы возвращаются в исходное состояние. Для остановки часов в середине партии с запоминанием оставшегося времени необходимо ввести дополнительный тумблер, при включении которого подаются запрещающие сигналы на ключи обоих счетчиков времени или отключается выход ГСИ.

Принципиальная схема электронных шахматных часов изображена на рис. 2 (с. 46—48).

Генератор счетных импульсов выполнен на транзисторах *Т1—Т3* по схеме автоколебательного мультивибратора на транзисторах разной проводимости. Основными элементами ГСИ являются интегрирующая цепочка, состоящая из резистора *R28* и конденсатора *С10*, и регенеративный амплитудный компаратор, образованный транзисторами *Т2* и *Т3*.

При включении источника питания на базе транзистора *Т2* мгновенно устанавливается отрицательное напряжение. Так как конденсатор *С10* не может зарядиться мгновенно, транзистор *Т2* оказывается закрытым, что приводит к закрыванию транзистора *Т3*. Как только напряжение на конденсаторе *С10* станет равным напряжению на базе транзистора *Т2*, последний открывается, что приводит к открыванию транзистора *Т3*. Его коллекторный ток создает еще больший положительный потенциал на базе транзистора *Т2*, последний открывается еще больше. Процесс открывания транзисторов носит лавинообразный характер. Он заканчивается тогда, когда транзистор *Т3* входит в режим насыщения. После этого начинается разряд конденсатора *С10* по цепи, состоящей из диода *Д81*, резистора *R30*, параллельного сопротивления баз транзисторов *Т2* и *Т3*, который продолжается до тех пор, пока транзистор *Т3* находится в насыщенном состоянии. В момент выхода транзистора из насыщенного состояния начинается процесс закрывания транзисторов, который протекает также лавинообразно. После этого вновь начинает заряжаться конденсатор *С10* и весь цикл повторяется сначала.

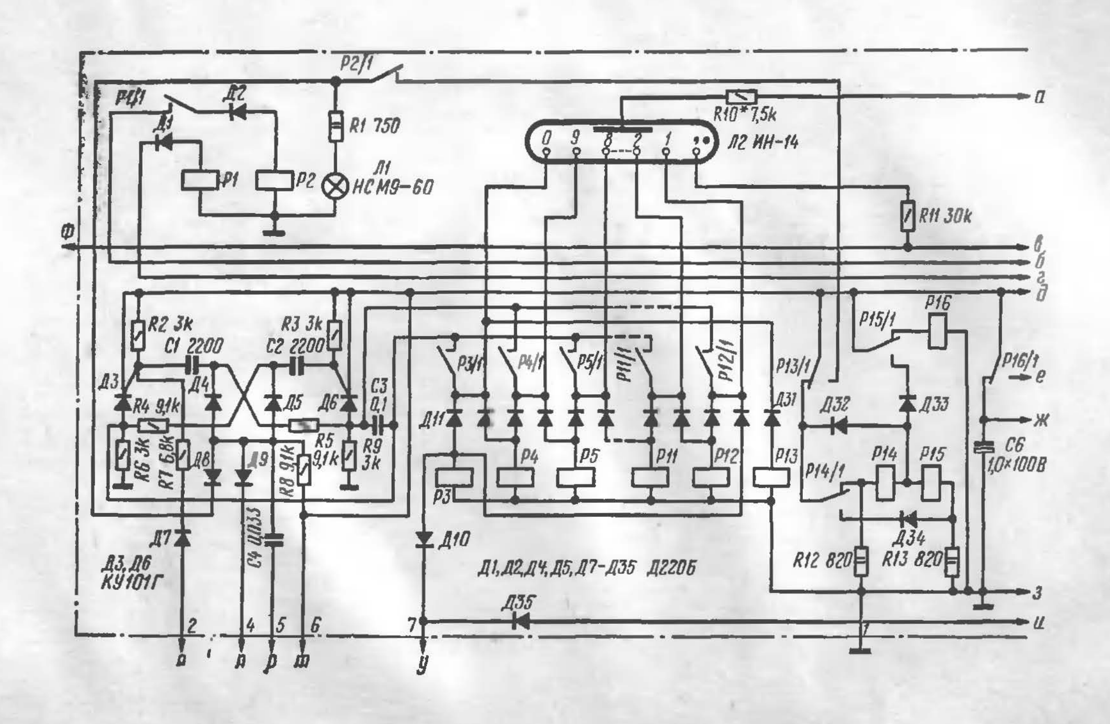
Период следования импульсов генератора определяется величинами сопротивления резистора *R28*, емкости конденсатора *С10* и уровнем напряжения на базе транзистора *Т2*. Переменным резистором *R35* производится точная установка периода следования импульсов, равного 1 с. Каскад, выполненный на транзисторе *Т1*, служит для согласования ГСИ со входом счетных декад и формирования импульсов необходимой амплитуды и полярности.

Счетчик времени, как указывалось ранее, состоит из трех декад с цифровыми индикаторами, устройства выделения «нулей» и ключевого устройства.

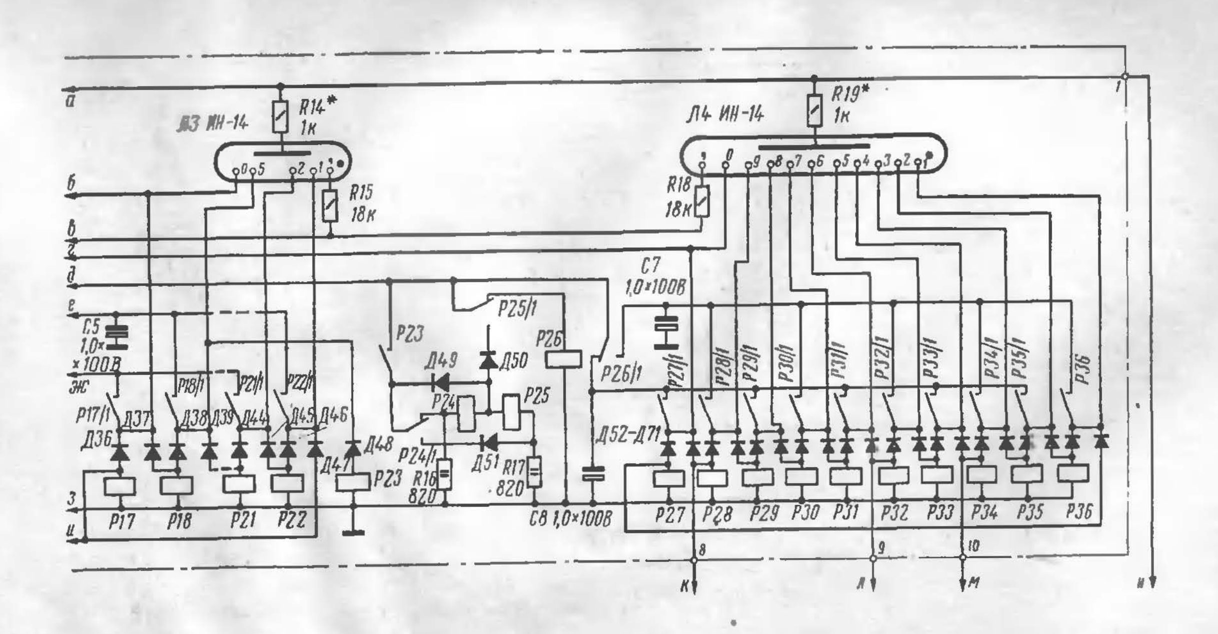
Декады выполнены по схеме кольцевого сдвигового регистра с коммутацией напряжения питания с помощью триггеров и отличаются только схемами последних. В младшей декаде используется электронный триггер, а в остальных — релейные.

Триггер младшей декады выполнен на тиристорах *Д3* и *Д6* с цепью запуска, состоящей из диодов *Д4*, *Д5*, конденсатора *С4* и коммутирующего конденсатора *С3*. После подачи напряжения питания тиристоры *Д3* и *Д6* остаются закрытыми. Установка триггера в исходное состояние осуществляется подачей положительного напряжения по цепи *Д7R7* (при нажатии кнопки *Кн3*) на управляющий электрод тиристора *Д3*. Тиристор открывается, и с резистора *R6* снимается напряжение питания четных катодов цифрового индикатора. Конденсатор *С3* через резистор *R9* и открытый тиристор *Д3* заряжается до напряжения источника питания. Первый счетный импульс с ГСИ открывает тиристор *Д6*. Тиристор *Д3* закрывается, и начинается перезаряд конденсатора *С3* через резистор *R6* и открытый тиристор *Д6*. С резистора *R9* снимается напряжение питания нечетных катодов цифрового индикатора. При поступлении последующих импульсов с ГСИ процессы повторяются.

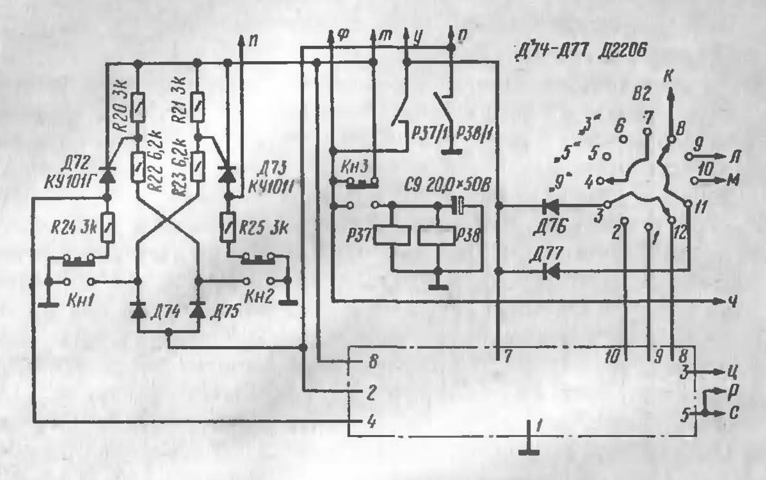
Рассмотрим теперь работу кольцевого сдвигового регистра младшей декады, выполненного на реле *Р3—Р12*. Верхний по схеме контакт каждого нечетного реле подключен к резистору *R6*, четного — к резистору *R9*, а нижний контакт — через диоды к обмоткам своего и последующего реле. Нижний контакт реле *Р12* через диод *Д30* соединен с обмоткой реле *Р3*. В исходном состоянии реле обесточены. При нажатии кнопки *Кн3* через замкнутые контакты реле *Р37* и диод *Д10* на обмотку реле *Р3* подается импульс тока и реле срабатывает. Через контакты *Р3/1* и диоды *Д11*,



Р2/1
R1 750
Л1
НСМ9-60
R10* 7,5k
Л2 ИН-14
R11 30k
R2 3k
C1 2200
R3 3k
C2 2200
C3 0,1
R4 9,1k
R5 9,1k
R6 3k
R7 6,8k
R8 9,1k
R9 3k
С4 0,033
Д3, Д6
КУ101Г
Д10
Д1,Д2,Д4,Д5,Д7-Д35 Д220Б
R12 820
R13 820
C6 1,0×100В
Д35



R14* 1к
Л3 ИН-14
R15 18к
R19* 1к
Л4 ИН-14
R18 18к
C7 1,0×100В
C5 1,0× ×100В
Д52-Д71
R16 820
R17 820
C8 1,0×100В



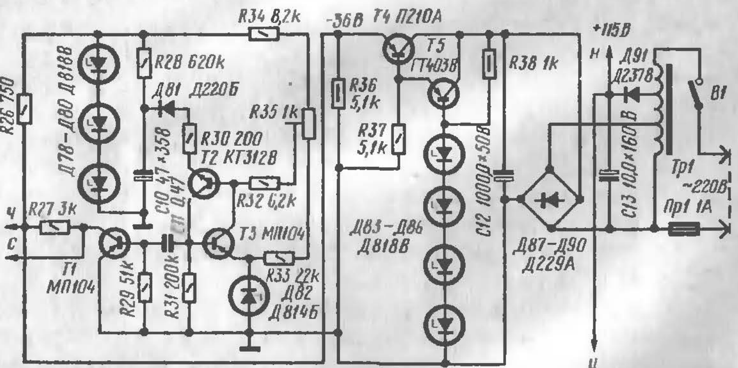


Рис. 2. Принципиальная схема электронных цифровых шахматных часов

Д12 напряжение питания катодов цифрового индикатора поступает на обмотки реле *Р3*, *Р4* и на катод цифры «0». Последняя зажигается. При поступлении импульса с ГСИ триггер младшей декады переключается и напряжение питания катодов через контакты *Р4/1* поступает на катод цифры «9». При последующих импульсах с ГСИ будут последовательно зажигаться цифры «8», «7» и т. д. После цифры «1» вновь зажигается цифра «0» и все повторяется сначала.

Триггеры второй и старшей декад выполнены по одинаковой схеме соответственно на реле *Р14*, *Р15* и *Р24*, *Р25*. Они отличаются только исходным состоянием. Рассмотрим

работу релейного триггера на примере работы триггера старшей декады.

В исходном состоянии оба реле триггера обесточены. При появлении напряжения на катоде «5» предыдущей декады срабатывает реле *Р23*. Через контакты *Р23/1* напряжение питания поступает на обмотку реле *Р25*. Оно срабатывает и через верхние по схеме контакты и диод *Д50* самоблокируется. Реле *Р24* при этом не срабатывает, так как в первый момент оно оказывается зашунтированным диодом *Д49*, а затем цепью, проходящей через замкнутые контакты *Р23/1* и собственные верхний и средний по схеме контакты.

При обесточивании реле *Р23* срабатывает реле *Р24* (шунтирующая цепь разомкнута). Замыкаются нижний и средний контакты. Теперь при срабатывании реле *Р23* обесточивается реле *Р25*. При следующем обесточивании реле *Р23* триггер возвращается в первоначальное состояние.

Таким образом, за время подачи двух управляющих сигналов релейный триггер возвращается в исходное состояние.

Выходная информация с релейного триггера подается на реле *Р26*. Поскольку релейные триггеры обладают низким быстродействием, применяют накопительные конденсаторы *С5*, *С6* (во второй декаде) и *С7*, *С8* (в старшей декаде).

Устройство выделения «нулей» состоит из двух реле *Р1* и *Р2*, диодов *Д1* и *Д2*, резистора *R1* и индикаторной лампы *Л1*. При одновременном наличии напряжения на катоде цифры «0» всех трех индикаторов срабатывают реле *Р1* и *Р2* и загорается лампа *Л1*.

В состав ключевого устройства входят диоды *Д8*, *Д9* и конденсатор *С4*. Через конденсатор *С4* на вход триггера младшей декады поступают импульсы с ГСИ. Через диоды *Д8* и *Д9* поступает отрицательное напряжение, запрещающее прохождение импульсов с ГСИ в момент истечения заданного времени или при нажатии кнопки *Кн1* или *Кн2*.

Установка счетчиков времени и узла коммутации в исходное рабочее состояние производится узлом сброса и записи. Он состоит из реле *Р37*, *Р38*, конденсатора *С9* и кнопки *Кн3*. При нажатии кнопки *Кн3* снимается напряжение питания со счетчиков времени и срабатывают реле *Р37* и *Р38*. Через замкнутые контакты *Р37/1* и *Р38/1* напряжение поступает на блок коммутации, триггеры младших декад и нулевые ячейки. Через контакты *Р37/1* и контакты переключателя исходного времени *В2* напряжение подается на ячейку старшей декады, которая индицирует цифру, соответ-

ствующую выбранной продолжительности партии. После отпускания кнопки *Кн3* снова подается напряжение на счетчики времени, где производится запись установленного времени, поскольку контакты реле *Р37* и *Р38* остаются замкнутыми еще некоторое время из-за разряда конденсатора *С9*.

Узел коммутации выполнен на тиристорах *Д72*, *Д73* и кнопках *Кн1* и *Кн2*. После включения источника питания и нажатия кнопки *Кн3* тиристоры *Д72* и *Д73* открываются. С резисторов *R24* и *R25* снимается напряжение, запрещающее прохождение импульсов ГСИ на триггеры младших декад. При нажатии кнопки *Кн1* разрывается цепь питания тиристора *Д72* и замыкается цепь управления тиристора *Д73*, что приводит к открыванию последнего. При этом импульсы ГСИ могут проходить только на второй счетчик. При нажатии кнопки *Кн2* открывается тиристор *Д72* и импульсы ГСИ поступают только на первый счетчик.

Электронные шахматные часы питаются от сети переменного тока напряжением 220 В. Постоянные напряжения поступают от двух отдельных выпрямителей. С целью уменьшения габаритов источника питания в нем применен тороидальный автотрансформатор.

Выпрямитель для питания цифровых индикаторов собран на диоде *Д91*. Выпрямленное напряжение должно быть равно 115 ± 11,5 В при токе 14 мА. Второй выпрямитель выполнен на диодах *Д87—Д90*. Стабилизация напряжения 36 В осуществляется с помощью транзисторов *Т4*, *Т5* и диодов *Д83—Д86*. Ток, потребляемый в цепи 36 В, составляет 400 мА.

Конструкция. Каркас электронных часов размерами 280 × 140 × 90 мм выполнен из алюминиевого уголка (10 × 10 × 0,8 мм). Детали размещены на трех монтажных платах. На двух, расположенных вертикально, находятся счетчики времени и узел коммутации, на третьей, горизонтально расположенной,— блок питания и ГСИ. На лицевой панели каркаса размещены цифровые индикаторы, переключатель исходного времени, кнопка «*Пуск*» (*Кн3*), тумблер включения питания и держатель предохранителя. На верхней панели — две кнопки (*Кн1* и *Кн2*). Цифровые индикаторы имеют оранжевый светофильтр, на котором выгравированы буквы «*М*» и «*С*», подсвечиваемые «запятыми» ламп. На боковых и задней стенках часов имеются перфорированные отверстия, служащие для естественной конвекции воздуха внутри устройства.

Детали. В качестве постоянных резисторов в электронных шахматных часах применены в основном резисторы МЛТ-0,25. Резисторы *R1*, *R12*, *R13*, *R16*, *R17* — МЛТ-2, *R28* — ВС-0,125 с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления *R31* — СП5-2.

В качестве электролитических конденсаторов использованы конденсаторы К50-6, остальные конденсаторы, за исключением *С10*,— типа КМ. Конденсатор *С10* должен обладать токами утечки порядка единиц наноампер и небольшим положительным температурным коэффициентом емкости. В качестве такого конденсатора можно использовать К52-1.

Диод *Д85* должен иметь очень малый ток утечки (10^{-8} — 10^{-9} А). В часах применены реле РЭС-10. Паспорт реле *Р14*, *Р15*, *Р24*, *Р25* — РС4.524.302, реле *Р13*, *Р16*, *Р26* — РС4.524.301, остальных — РС4.524.300. Переключатель *В2* — галетный.

В электронных часах допускается применение и других элементов, аналогичных по параметрам вышеприведенным.

Налаживание. При правильно произведенном монтаже налаживание электронных часов сводится к подстройке периода следования импульсов ГСИ. Эта подстройка может быть произведена либо с помощью частотомера или измерителя интервалов времени, либо с помощью секундомера и любого внутреннего счетчика времени. Делают это так. Устанавливают продолжительность партии, например три минуты, и включают одновременно секундомер и любой из внутренних счетчиков времени. По истечении времени смотрят показание секундомера. Если оно отлично от продолжительности партии, то изменяют сопротивление резистора *R35* и повторяют весь цикл сначала. Это производят до тех пор, пока показание секундомера не будет соответствовать продолжительности партии.

АВТОМАТ ЕЛОЧНОЙ ИЛЛЮМИНАЦИИ

Б. Толокнов

Описываемое автоматическое устройство предназначено для коммутации елочных гирлянд и для управления различными устройствами световой иллюминации. В упрощен-

ном варианте оно может быть использовано для управления различными бытовыми приборами (реле времени для фотопечати, автомат задержки включения и т. д.).

Устройство может работать на нагрузку, состоящую из ламп накаливания с рабочим напряжением до 300 В (в зависимости от типа используемых тиристоров) и суммарным током до 8 А. При использовании в качестве нагрузки елочных гирлянд количество гирлянд и электрических ламп в них зависит от типа выбранных ламп. При этом могут быть использованы как миниатюрные (индикаторные), так и обычные осветительные электрические лампы. Так, например, к этому устройству можно одновременно подключить до 40 гирлянд, в каждую из которых последовательно включено по 10 миниатюрных ламп, рассчитанных на напряжение 2,5 В и ток 0,2 А (при использовании тиристоров КУ201Б).

Частота коммутации нагрузки плавно регулируется от 0,05 до 25 Гц. Цепи нагрузки питаются от источника постоянного тока напряжением до 300 В (в зависимости от типа используемых тиристоров и параметров нагрузки). Устройство управления автоматом питается от источника постоянного тока напряжением 18 В, потребляемая мощность 0,6 В·А.

Принципиальная схема автомата приведена на рис. 1. Автомат состоит из двух одинаковых каналов, в каждый из которых входят устройство управления и кольцевой счетчик. Устройство управления включает в себя задающий генератор на транзисторах *Т1*, *Т2* (*Т5*, *Т6*) и триггерный каскад на транзисторах *Т3*, *Т4* (*Т7*, *Т8*).

Задающий генератор собран по схеме генератора импульсов инфранизких и низких частот (см. ж-л «Радио», 1969, № 12). Он представляет собой несимметричный мультивибратор со скважностью импульсов значительно большей двух. Диод *Д1* (*Д13*) в базовой цепи транзистора *Т2* (*Т6*) резко уменьшает шунтирующее действие транзистора на процесс разряда конденсатора *С1* (*С12*). При этом становится возможным значительно увеличить сопротивления резисторов *R3*, *R4* (*R26*, *R27*) и получить колебания низких и инфранизких частот при сравнительно небольших величинах емкостей конденсаторов *С1*, *С2* (*С12*, *С13*).

Емкость конденсатора *С1* (*С12*) при заданном периоде колебаний можно определить из соотношения:

$$C1 = \frac{1,8T}{R3 + R4}.$$

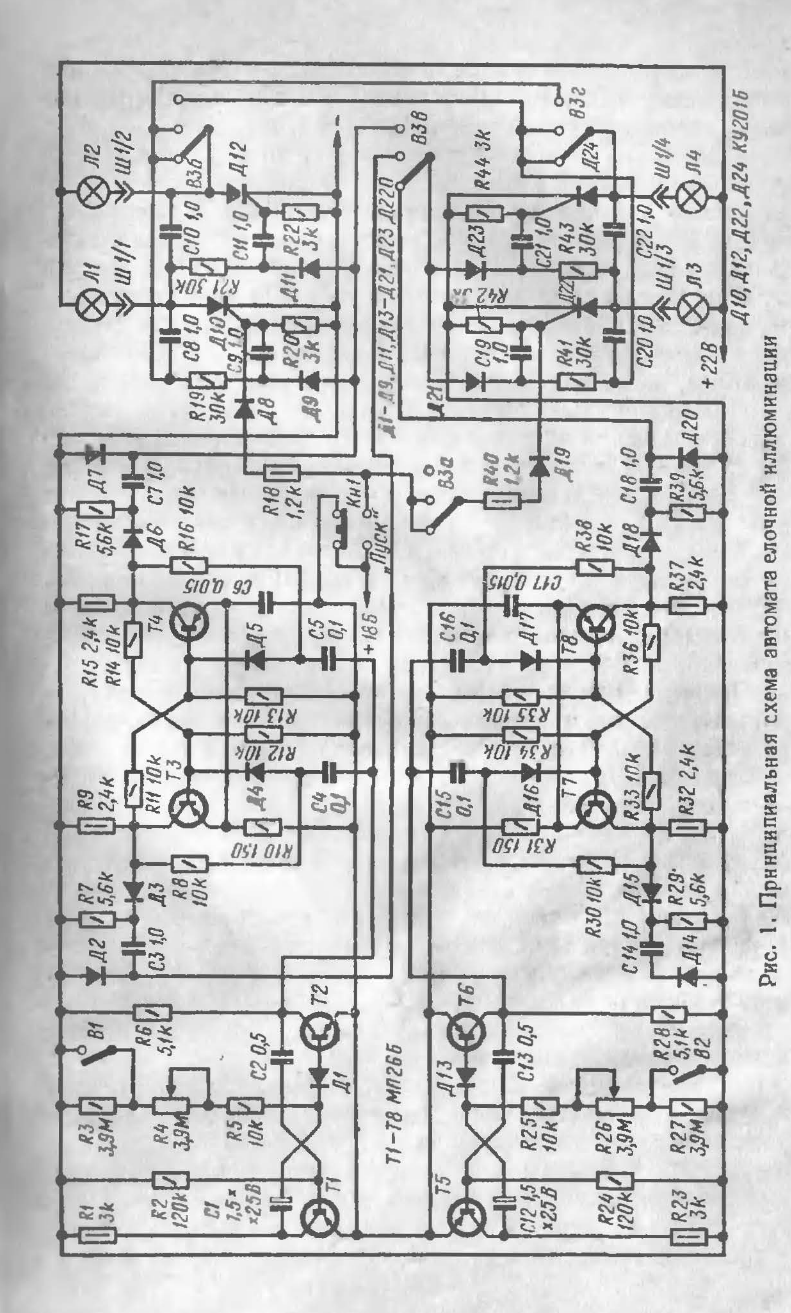


Рис. 1. Принципиальная схема автомата елочной иллюминации

Если сопротивление резисторов выражено в мегомах, период в секундах, то емкость конденсатора получается в микрофарадах. Емкость конденсатора *С2* (*С13*) равняется:

$$C2 = (0{,}2 \div 0{,}3)\, C1.$$

Изменяя положение движка переменного резистора *R4* (*R26*), можно регулировать генерируемую частоту. С помощью выключателей *В1* и *В2* выбирают требуемый частотный поддиапазон (0,1—0,2 Гц—при замкнутом положении *В1* и *В2* и 0,2—50 Гц — при разомкнутом). При необходимости диапазон генерируемых импульсов может быть изменен.

Положительные импульсы с коллектора транзистора *Т2* (*Т6*) поступают на вход триггера с коллекторно-базовыми связями и автоматическим смещением. Триггерный каскад одновременно выполняет функции делителя частоты и формирователя импульсов для запуска кольцевого счетчика.

Транзисторы *Т3*, *Т4* (*Т7*, *Т8*) управляют закрыванием и открыванием диодов *Д3*, *Д6* (*Д15*, *Д18*). С резисторов *R7*, *R17* (*R39*) снимаются импульсы с амплитудой, близкой к напряжению источника питания, и длительностью, определяемой интервалами следования входных импульсов запуска. Через конденсаторы *С3*, *С7* (*С18*) положительные импульсы поступают на вход кольцевого счетчика. В описываемой схеме выход с конденсатора *С14* не используется, однако при необходимости его можно применять для запуска аналогичного кольцевого счетчика.

Каждый из кольцевых счетчиков состоит из двух одинаковых ячеек. Рассмотрим работу кольцевого счетчика на примере первого канала.

В момент включения питания тиристоры закрыты. Конденсаторы *С9* и *С11* начинают заряжаться через сопротивления нагрузки и резисторы *R19*, *R20* и *R21*, *R22* до напряжения источника питания. Диоды *Д9* и *Д11* оказываются закрытыми, и положительный импульс, приходящий на вход счетчика, не сможет его запустить.

Запуск счетчика осуществляется кратковременной подачей положительного напряжения в цепь управляющего электрода тиристора *Д10* (при нажатии кнопки *Кн1*). Конденсаторы *С8* и *С10* начинают заряжаться через открытый тиристор *Д10*, а конденсатор *С11* разряжается. При этом открывается диод *Д11*. Теперь при подаче положительного импульса с триггерного каскада откроется тиристор *Д12*, а тиристор *Д10* закроется. В последующий промежуток времени конденсаторы *С8* и *С10* перезарядятся, конденсатор *С11* зарядится, диод *Д11* закроется, конденсатор *С9* разрядится и откроется диод *Д9*. Теперь очередной положительный импульс, поступающий с триггерного каскада, откроет тиристор *Д10* и весь описанный процесс повторится сначала.

В связи с тем, что запуск обоих счетчиков осуществляется одной кнопкой *Кн1*, для исключения взаимного влияния счетчиков в цепи запуска включены диоды *Д8* и *Д19*. Резисторы *R18*, *R40* ограничивают токи, протекающие через управляющие электроды тиристоров. В анодную цепь каждого тиристора может быть одновременно включена группа гирлянд (на схеме условно названные *Л1*—*Л4*) на рабочее напряжение до 25 В и суммарный ток до 2 А.

Для обеспечения нормального теплового режима тиристоры необходимо устанавливать на радиаторы. Простейшим радиатором может служить медная пластина толщиной 3—5 мм и площадью 10—15 см².

При необходимости количество коммутирующих ячеек в каждом счетчике может быть увеличено до 10 и более.

Емкость конденсаторов *С8*, *С10*, *С20* и *С22* зависит от величины сопротивления нагрузки, включенной в анодную цепь каждого тиристора. При этом должно соблюдаться неравенство:

$$0{,}33T_{мин}(n-1) \geqslant R_н C \geqslant 1{,}44\ t_{выкл},$$

где $T_{мин}$ — минимальный период следования входных импульсов (в секундах);

$t_{выкл}$ — время выключения тиристора (в секундах);

n — количество ячеек счетчика;

$R_н$ — сопротивление нагрузки (в омах);

C — емкость конденсатора (в фарадах).

Емкости конденсаторов *С8*, *С10*, *С20*, *С22*, указанные на принципиальной схеме, выбраны из условия включения в анодные цепи каждого тиристора нагрузки, рассчитанной на напряжение 25 В и ток 0,6 А. При увеличении мощности, потребляемой нагрузкой, емкости указанных конденсаторов должны быть увеличены в соответствии с вышеуказанными требованиями.

Сопротивления резисторов *R18* и *R40* (в килоомах) должны удовлетворять условию:

$$\frac{U}{I_{у\,мин}} \geqslant R \geqslant \frac{U}{I_{у\,макс}},$$

где U — амплитуда входных импульсов (в вольтах);
$I_{у\,мин}$ — минимальный ток управления (в миллиамперах);
$I_{у\,макс}$ — максимально допустимый ток управления (в миллиамперах).

Необходимо отметить, что при запуске счетчиков отключается источник питания устройства управления. Это требуется для того, чтобы избежать нарушения работы счетчиков, особенно при максимальной частоте следования запускающих импульсов.

В зависимости от положения переключателя *В3* автомат елочной иллюминации может работать в трех режимах. В левом по схеме положении переключателя частоты переключений групп гирлянд *Л1*, *Л2* и *Л3*, *Л4* определяются частотами задающих генераторов. В среднем положении переключателя частота переключений всех групп гирлянд определяется частотой задающего генератора первого канала. В правом положении переключателя счетчики обоих каналов объединяются в один четырехразрядный счетчик, а частота переключений определяется частотой задающего генератора первого канала.

Для получения большего светового эффекта в елочный автомат может быть введено устройство перегруппировки гирлянд (в простейшем случае это переключатель), которое работает по заранее выбранной программе. Если параллельно выходному разъему включить дополнительные разъемы, то одновременно можно будет коммутировать елочные гирлянды и устройства световой иллюминации.

Конструкция и детали. Автомат может быть выполнен как в виде самостоятельных конструкций блока питания и блока автоматики, так и в едином конструктивном исполнении.

Корпус изготовлен из дюралюминия толщиной 2 мм и окрашен нитроэмалью. На переднюю панель выведены ручки управления частотами задающих генераторов (переменные резисторы *R4* и *R26* типа СП-1), кнопка *Кн1* (малогабаритная КМ1-1), переключатели частотных поддиапазонов *В1* и *В2* (тумблеры ТВ2-1), переключатель режима работы *В3* (галетный с двумя платами) и выходной разъем для подключения гирлянд. На боковую панель выведен разъем для подключения блока питания.

Все узлы автомата могут быть размещены на платах из гетинакса или текстолита с применением печатного или навесного монтажа. Габариты плат и соответственно корпуса

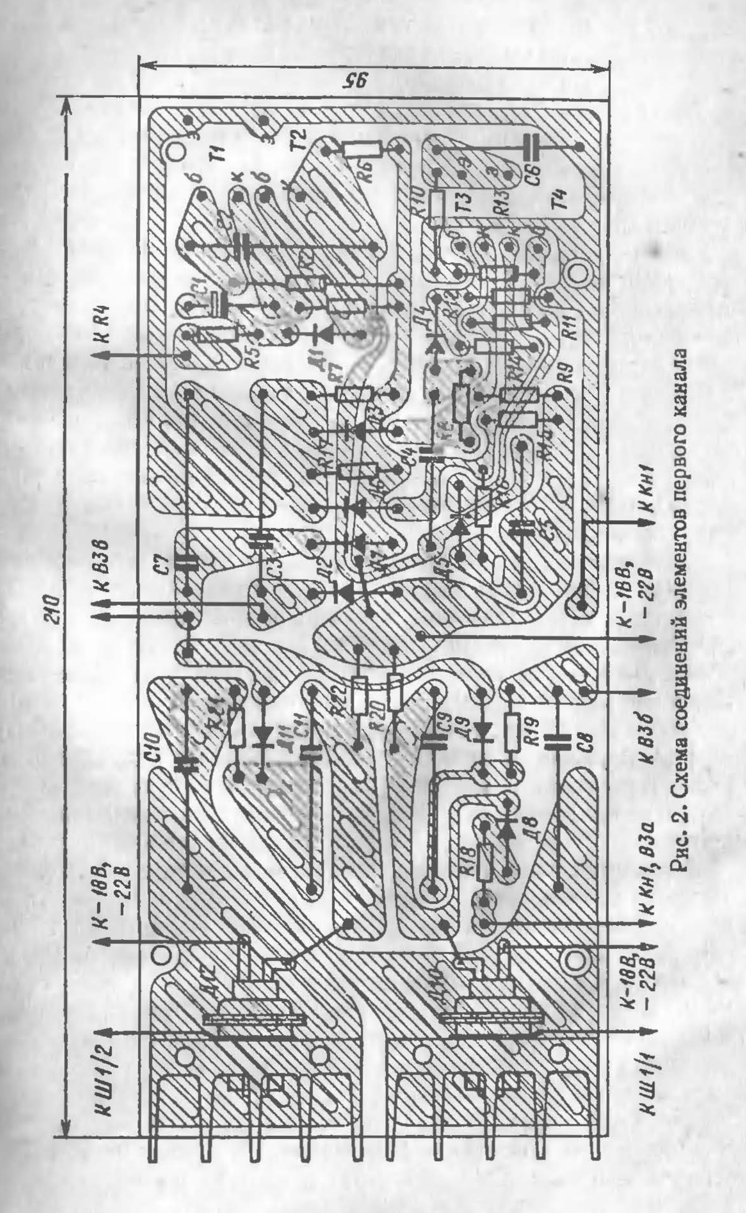


Рис. 2. Схема соединений элементов первого канала

определяются размерами используемых деталей и радиаторов, а также способом монтажа.

На рис. 2 показана схема соединений элементов первого канала.

В автомате елочной иллюминации применены резисторы МЛТ, конденсаторы *C1*, *C12* — К53-4, остальные — МБМ. Вместо указанных на схеме транзисторов можно использовать МП25, МП26. Диоды Д220 можно заменить диодами Д9В—Д9Л. В качестве тиристоров можно применять тиристоры КУ201 с индексами Г, Е, И, Л.

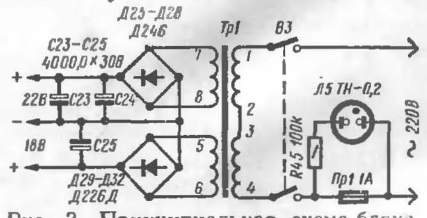


Рис. 3. Принципиальная схема блока питания

На рис. 3 приведена схема блока питания. Выбор силового трансформатора определяется мощностью, которую потребляет нагрузка. Для обеспечения коммутации елочных гирлянд общей мощностью до 200 Вт использован трансформатор, выполненный на сердечнике ПЛР25 × 40 (из комплекта деталей трансформатора и дросселя КД-ТД-13). Обмотки *1—2* и *3—4* содержат по 350 витков провода ПЭЛ-1 0,69; *5—6* — 40 витков провода ПЭЛ-1 0,29; *7—8* — 70 витков провода ПЭЛ-1 2,2. Конденсаторы могут быть любого типа (рабочее напряжение должно быть не менее 30 В).

При правильно произведенном монтаже и исправных деталях автомат начинает функционировать сразу.

На основе описанной схемы автомата елочной иллюминации могут быть созданы упрощенные его варианты — одноканальные и более сложные — многоканальные.

ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМОБИЛЯ «ЖИГУЛИ»

В. Якушев, А. Косиков

За последнее время в мировом автомобилестроении все шире находят применение электронные устройства и, в частности электронные регуляторы напряжения, которые превосходят свои электромеханические аналоги по надежности, компактности и другим показателям. На автомобиле М-24 устанавливается серийно выпускаемый промышленностью электронный регулятор напряжения типа РР350. Ниже описывается самодельный электронный регулятор, который можно использовать на автомобиле «Жигули».

Регулятор не имеет движущихся частей и контактов, очень прост в налаживании, практически не реагирует на изменение влажности и газового состава окружающей среды, а также в малой степени изменяет свои параметры от температуры. Он обеспечивает постоянство выходного напряжения генератора переменного тока Г-221 в интервале температур от —30 до +50°С независимо от оборотов двигателя и нагрузки генератора.

Отметим еще одно положительное свойство электронного регулятора. Дело в том, что, обладая жесткими регулирующими характеристиками, он не позволяет генератору развивать повышенное выходное напряжение при максимальных (или близких к ним) оборотах двигателя, что исключает перезарядку аккумуляторов и выкипание электролита при длительной работе двигателя на больших оборотах.

Принципиальная схема электронного регулятора изображена на рис. 1. Устройство представляет собой усилитель постоянного тока, собранный на транзисторах *T1* и *T2*, на входе которого включен стабилитрон *Д1*. Установка уровня выходного напряжения производится подстроечным

резистором $R2$. В коллекторную цепь транзистора $T2$ включена обмотка возбуждения генератора (контакт *Ш2*). Параллельно ей включен диод *Д2*, предохраняющий транзистор $T2$ от перегрузок. Контакт *Ш1* соединен с замком зажигания, а через него — с положительными полюсами аккумуляторной батареи и генератора.

Устройство работает следующим образом. При включении замка зажигания напряжение 12 В от аккумуляторной батареи поступает на электронный регулятор. При этом транзистор $T2$ открывается, а транзистор $T1$ остается закрытым. Через обмотку возбуждения генератора начинает протекать ток.

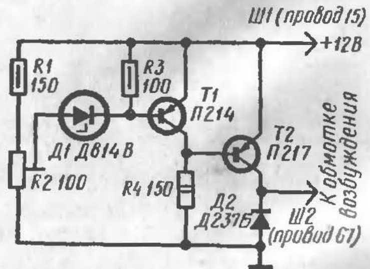


Рис. 1. Принципиальная схема электронного регулятора напряжения

При запуске двигателя автомобиля генератор начинает вырабатывать напряжение, которое с увеличением оборотов непрерывно возрастает. В некоторый момент времени (определяется положением движка подстроечного резистора $R2$) наступает пробой стабилитрона *Д1*. Транзистор $T1$ приоткрывается, что вызывает частичное закрывание транзистора $T2$. Как следствие этого, уменьшается ток, протекающий через обмотку возбуждения генератора. Напряжение на выходе генератора уменьшается. Это продолжается до тех пор, пока не закроется транзистор $T1$, после чего описанный процесс повторяется.

Таким образом, на выходе генератора поддерживается постоянное напряжение, не зависящее от числа оборотов ротора генератора и тока, отдаваемого потребителю.

Конструкция и детали. Электронный регулятор напряжения смонтирован на печатной плате (рис. 2), изготовленной из фольгированного гетинакса толщиной 2 мм. Транзистор $T2$ укреплен на радиаторе, конструкция которого показана на рис. 3, *а*. Резистор $R2$ установлен на плате с помощью П-образной скобы (рис. 3, *б*), изготовленной из латуни толщиной 0,8—1 мм. Выводы транзистора $T1$ впаиваются в дорожки печатного монтажа. Дополнительного крепления транзистор не имеет.

Печатная плата укреплена на скобе (рис. 4, *а*) и закрыта крышкой (рис. 4, *б*).

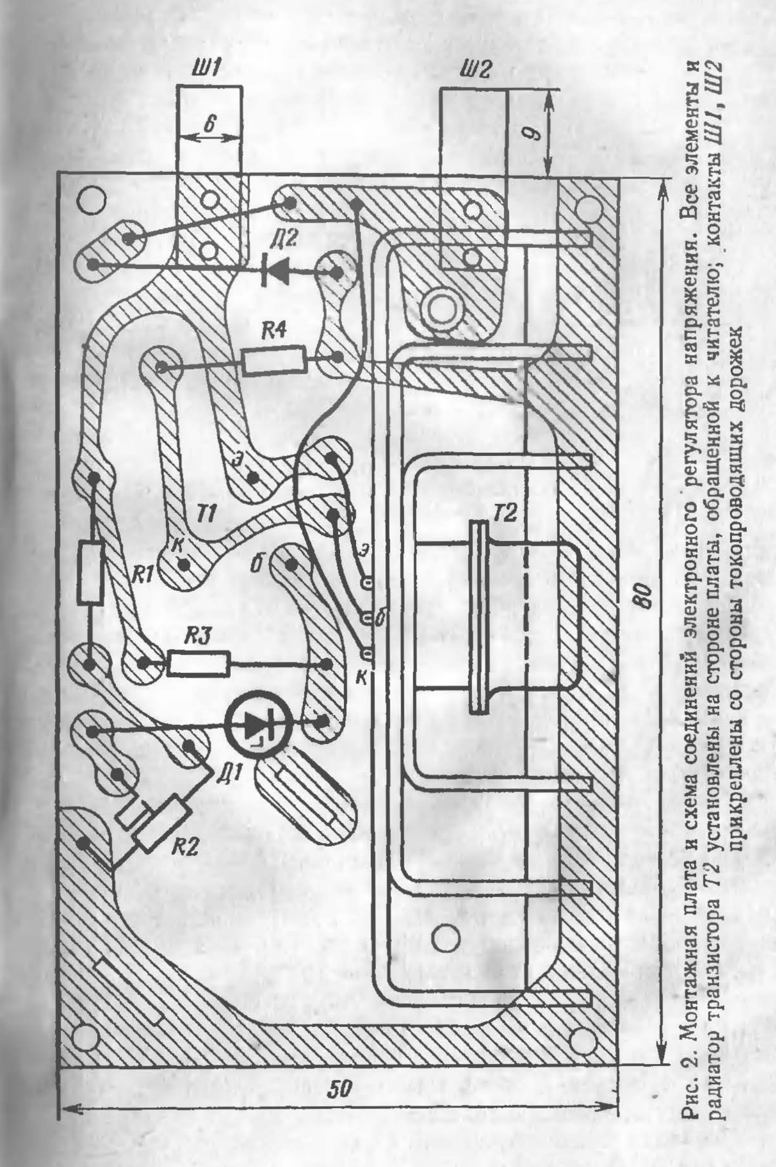


Рис. 2. Монтажная плата и схема соединений электронного регулятора напряжения. Все элементы и радиатор транзистора $T2$ установлены на стороне платы, обращенной к читателю; контакты *Ш1*, *Ш2* прикреплены со стороны токопроводящих дорожек

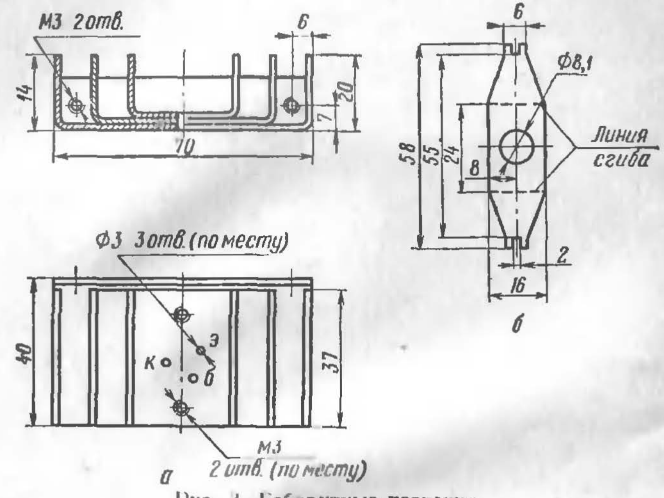


Рис. 3. Габаритные чертежи:
а — радиатора; *б* — скобы

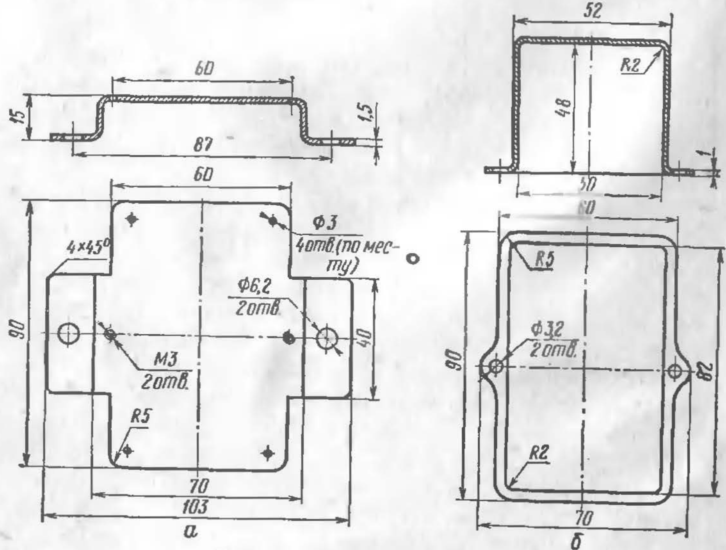


Рис. 4. Габаритные чертежи:
а — скобы; *б* — крышки

Скоба изготовлена из листовой стали толщиной 1,5 мм. В ней предусмотрены четыре отверстия для крепления платы и два (с резьбой) — для крепления крышки.

Крышка изготовлена из листового материала (дюралюминий или латунь) толщиной 1 мм. Ее углы заварены (можно заклепать), а в нижней части имеется отбортовка. На рисунке условно не показаны отверстия для контактов *Ш1* и *Ш2*. При сборке между крышкой и скобой устанавливают пылезащитную резиновую прокладку толщиной 1 мм.

Контакты *Ш1* и *Ш2* изготовлены из латуни толщиной 0,8—1 мм. Они приклепаны к плате, а для обеспечения более надежного электрического контакта дополнительно припаяны к фольге.

Электронный регулятор напряжения устанавливают в моторном отсеке автомобиля «Жигули» вместо регулятора РР380, используя те же точки крепления.

В электронном регуляторе применены постоянные резисторы типа МЛТ. В качестве подстроечного резистора *R2* использован переменный резистор ППЗ-11. Вместо транзистора П214 можно использовать П213, а вместо П217 — П216. Диод Д814В можно заменить на Д814Б, Д809, Д810, а диод Д237Б — на Д226.

Налаживание. Для налаживания электронного регулятора напряжения необходимы вольтметр постоянного тока с верхним пределом 15 (30) В и амперметр с верхним пределом 5 (10) А. Класс точности приборов должен быть не хуже 2,5.

Движок подстроечного резистора *R2* устанавливают в среднее положение. Вольтметр включают параллельно аккумуляторной батарее, а амперметр — между отрицательным полюсом батареи и «массой» автомобиля, запускают двигатель автомобиля, прогревают его, а затем устанавливают средние обороты. Вращая ось подстроечного резистора *R2*, устанавливают зарядный ток силой 1—2 А и одновременно по показаниям вольтметра контролируют напряжение генератора, которое должно находиться в пределах 14,2 ± ± 0,3 В (при полностью заряженном аккумуляторе). Включают все потребители электроэнергии (габаритные огни, дальний свет, вентилятор отопителя). Сила зарядного тока при этом должна быть около 1 А. Если она меньше указанной величины, то необходимо несколько увеличить уровень выходного напряжения (с помощью резистора *R2*). Затем

отключают потребители электроэнергии и устанавливают минимальные устойчивые холостые обороты двигателя. Зарядный ток при этом должен находиться в пределах 0,5—2 А и практически не изменяться при включении габаритных огней.

Для окончательной проверки электронного регулятора напряжения необходимо плавно увеличить обороты двигателя до максимальных, одновременно наблюдая за показаниями вольтметра. Напряжение не должно увеличиваться более чем на 0,1—0,2 В.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПРОГРАММНЫЙ КОММУТАТОР

Ю. Швабский

Приводимая ниже схема может быть использована для автоматического программного подключения и отключения определенного количества нагрузок, например световых гирлянд, табло, электродвигателей и т. п.

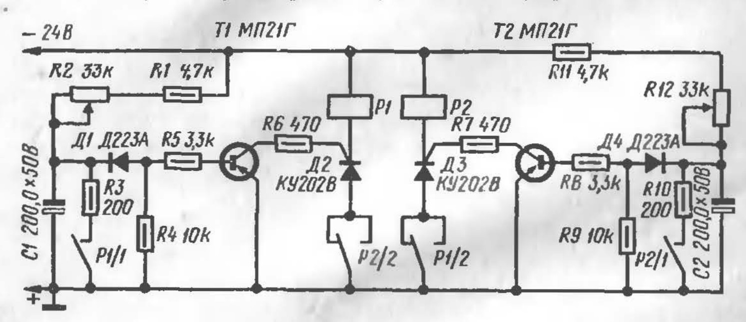
Выполнен коммутатор из идентичных схемных узлов, соединенных друг с другом обратными связями в соответствии с программой работы исполнительных устройств. На рисунке представлена кольцевая схема, состоящая из двух узлов. Каждый узел содержит времязадающую *RC*-цепь (*R1R2C1* или *R11R12C2*), транзистор (*T1* или *T2*), тиристор (*Д2* или *Д3*), последовательно с которым включено реле (*P1* или *P2*). Анод каждого тиристора через переключающие контакты другого аналогичного узла подключен к источнику питания.

Конденсатор *C1* (*C2*) шунтирован ограничительным резистором *R3* (*R10*) и нормально открытыми контактами реле *P1* (*P2*). Один из резисторов *RC*-цепи — переменный. Общая точка *RC*-цепи через диод *Д1* (*Д4*) и резистор *R5* (*R8*) присоединена к базе транзистора *T1* (*T2*). Коллектор транзистора *T1* (*T2*) через резистор *R6* (*R7*) подключен к управляющему электроду тиристора *Д2* (*Д3*).

Питание осуществляется от источника постоянного тока напряжением 24 В.

Работает коммутатор следующим образом. В момент включения питания транзисторы и тиристоры закрыты, конденсаторы *C1* и *C2* разряжены. По мере заряда конденсаторов потенциалы общих точек *RC*-цепей возрастают. В какой-то момент времени, определяемый параметрами *RC*-цепи, один из транзисторов, например транзистор *T1*, откроется, через управляющий электрод тиристора *Д2* пройдет ток, достаточный для открывания последнего. Тиристор *Д2* от-

кроется, сработает реле *Р1*, нормально открытые контакты реле *Р1/1* замкнутся, конденсатор *С1* разрядится. Контакты реле *Р1/2* переключаются из одного замкнутого состояния в другое, при этом в момент переключения на некоторое время цепь тиристора *Д3* будет разомкнута. Процесс заряда конденсатора *С2* будет продолжаться. Когда потенциал на базе транзистора *Т2* станет отрицательным, последний откроется, через тиристор *Д3* пройдет ток управления, кото-



Принципиальная схема автоматического программного коммутатора

рый откроет его, сработает реле *Р2*. Конденсатор *С2* разрядится через контакты *Р2/1*.

Переключаясь из одного замкнутого состояния в другое, контакты реле *Р2* на короткое время разомкнут цепь питания тиристора *Д2* и тем самым выключат его. Реле *Р1* обесточивается, контакты *Р1/1* размыкаются. После этого процесс заряда конденсатора *С1* и работа других элементов автоматически повторяется.

Однотактовое срабатывание и отпускание исполнительного реле *Р1* с регулированием длительности такта достигается замыканием переключающих контактов реле *Р1*. Длительность такта регулируется переменным резистором *R12*.

Для лучшей стабильности работы в цепь эмиттера каждого транзистора целесообразно включить резистор сопротивлением 150—200 Ом.

Рассмотренная схема представляет собой простую комбинацию двух узлов. Путем подключения большего количества таких узлов с взаимозависимыми межузловыми связями можно получить устройство, работающее по более сложной программе.

В автоматическом программном коммутаторе использованы реле типа РМУГ, переменные резисторы ППЗ-11, постоянные — МЛТ-0,5, конденсаторы К50-3.

ОДНОФАЗНЫЕ КОНДЕНСАТОРНЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

А. Адаменко, В. Кисленко, В. Оноприч, В. Шуруб

Многих радиолюбителей интересует вопрос включения трехфазных электродвигателей в однофазную сеть. В некоторых случаях трехфазные электродвигатели не разгоняются. Причиной этого являются провалы в кривой вращающих моментов, обусловленные высшими гармониками магнитного поля. В Институте электродинамики АН УССР проведено всестороннее исследование влияния высших гармоник на работу однофазных конденсаторных электродвигателей.

Все ли трехфазные электродвигатели могут быть включены в однофазную сеть?

В однофазную сеть практически могут быть включены любые трехфазные электродвигатели. Но одни из них в однофазной сети работают плохо, например, двигатели с двойной клеткой короткозамкнутого ротора серии МА, а другие при правильном выборе схемы включения и параметров конденсаторов работают хорошо (асинхронные электродвигатели серий А, АО, АО2, Д, АОЛ, АПН, УАД). Мощность используемых электродвигателей ограничивается величиной допустимых токов сети. Авторами проведена опытная эксплуатация однофазных электродвигателей мощностью до 7,6 кВт.

Какие схемы включения целесообразно использовать?

В последние годы разработаны новые схемы однофазных конденсаторных электродвигателей с трехфазными обмотками (см. список литературы).

В однофазных электродвигателях используется преобразование однофазного тока в многофазный. Для этой цели применяют фазосдвигающие элементы (конденсаторы, трансформаторы, дроссели, транзисторы и т. д.), параметры которых должны находиться в определенном соотношении с параметрами фаз электродвигателя. На практике обычно предпочтение отдается таким схемам включения, в которых

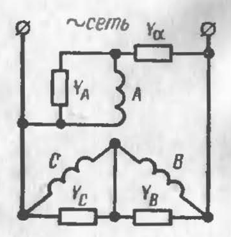


Рис. 1. Схема последовательно - параллельного соединения обмоток статора

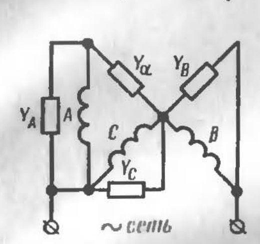


Рис. 2. Схема соединения обмоток статора в несимметричную звезду

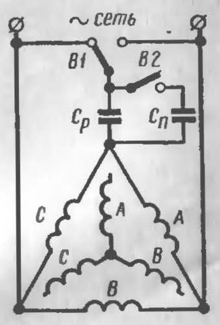


Рис. 3. Схема соединения обмоток статора в треугольник (звезду)

в качестве фазосдвигающих элементов применяются конденсаторы.

Одними из лучших схем однофазных электродвигателей являются схемы с последовательно-параллельным соединением обмоток статора (рис. 1) и соединением обмоток статора в несимметричную звезду (рис. 2). Номинальное напряжение сети для этих схем в $\sqrt{3}$ раз больше номинального фазного напряжения обмоток статора. Например, для однофазных сетей 220 В требуются электродвигатели с фазным напряжением 127 В. Однофазные электродвигатели, выполненные по этим схемам, отличаются высокими энергетическими показателями, отсутствием провалов в кривой вращающих моментов, минимальным электромагнитным шумом. На схемах указано по четыре фазосдвигающих элемента, хотя часто можно ограничиться использованием только двух Y_B и Y_α.

Недостатком схемы с последовательно-параллельным соединением обмоток статора является использование фазосдвигающих элементов двух различных номинальных напряжений ($U_\alpha \approx \sqrt{3}\,U_B$). Этот недостаток отсутствует при соединении обмоток в несимметричную звезду.

Выбор параметров фазосдвигающих конденсаторов можно произвести по паспортным данным электродвигателя (емкость конденсаторов получается в микрофарадах).

Для схемы с последовательно-параллельным соединением обмоток:

$$C_A = C_C = \frac{I_{нф}}{U_{нф}} \cdot \frac{10^6}{2\pi f}\left(\sin\varphi_н - \frac{1}{\sqrt{3}}\cos\varphi_н\right),$$

$$C_B = \frac{I_{нф}}{U_{нф}} \cdot \frac{10^6}{2\pi f}\left(\sin\varphi_н + \frac{1}{\sqrt{3}}\cos\varphi_н\right),$$

$$C_\alpha = \frac{I_{нф}}{U_{нф}} \cdot \frac{10^6}{2\pi f} \cdot \frac{\cos\varphi_н}{\sqrt{3}}.$$

Для схемы соединения обмоток в несимметричную звезду:

$$C_A = C_C = \frac{I_{нф}}{U_{нф}} \cdot \frac{10^6}{2\pi f}\left(\sin\varphi_н - \frac{1}{\sqrt{3}}\cos\varphi_н\right),$$

$$C_B = \frac{I_{нф}}{U_{нф}} \cdot \frac{10^6}{2\pi f}\left(\sin\varphi_н + \sqrt{3}\cos\varphi_н\right),$$

$$C_\alpha = \frac{I_{нф}}{U_{нф}} \cdot \frac{10^6}{2\pi f} \cdot \frac{2\cos\varphi_н}{\sqrt{3}}.$$

При достаточно высоких коэффициентах мощности фазы (что характерно для двухполюсных электродвигателей — $n_с = 3000$ об/мин) удовлетворительные характеристики могут быть получены при использовании всего двух конденсаторов C_B и C_α. Четырехполюсные электродвигатели ($n_C = 1500$ об/мин) имеют более низкие коэффициенты мощности фазы. Чтобы получить круговое вращающееся поле, в таких двигателях необходимо устанавливать все четыре фазосдвигающих элемента. Для реверса электродвигателя нужно поменять местами фазы B и C.

Можно использовать соединение трехфазных обмоток статора в правильный треугольник, когда $U_ф = U_с$, или в звезду, когда $U_ф = \frac{U_с}{\sqrt{3}}$ (рис. 3). Эти схемы для обеспечения кругового поля требуют в общем случае установки двух фазосдвигающих элементов.

Выбор параметров фазосдвигающих элементов также можно произвести по паспортным данным электродвигателя. Расчеты упрощаются, если воспользоваться отношением

реактивной мощности конденсаторов и дросселей к потребляемой мощности электродвигателя $P_1 = P_2/\eta$:

$$P_к = \omega C_р U^2 \cdot 10^6 = P_1\left(\frac{1}{\sqrt{3}} + \frac{\operatorname{tg}\varphi_н}{3}\right),$$

$$P_{др} = UI_{др} = \frac{U^2}{X_{др}} = P_1\left(\frac{1}{\sqrt{3}} - \frac{\operatorname{tg}\varphi_н}{3}\right).$$

При $\cos\varphi_н$, близком к 0,5, реактивная мощность дросселя мала, поэтому можно устанавливать только один фазосдвигающий элемент — конденсатор. Его емкость будет равна (в микрофарадах):

$$C_р = \frac{P_к 10^6}{\omega U_к^2},$$

где $P_к$ выражена в вольт-амперах.

В режиме кругового поля все отмеченные схемы обеспечивают полное использование мощности трехфазного электродвигателя. Подбирая параметры конденсаторов и дросселей, электродвигатели можно перевести в режим кругового поля при любой скорости и нагрузке. Этот режим соответствует также минимальным шумам и вибрациям.

Способы пуска однофазных электродвигателей

Часто в литературе рекомендуют пуск однофазного электродвигателя производить с помощью «пусковой веревочки». Для однофазных конденсаторных электродвигателей такой метод пуска не рекомендуется, так как электродвигатель можно вывести в режим работы против большего (при неподвижном роторе) поля. С рабочими конденсаторами электродвигатель развивает небольшой пусковой момент $\left(\frac{M_{пуск}}{M_{ном}} \approx \approx 0{,}2 \div 0{,}3\right)$.

В последние годы получили развитие комбинированные способы пуска. Идея этого метода заключается в применении двух схем включения обмоток однофазных электродвигателей: во время пуска используется последовательно-параллельное соединение обмоток статора, а после разгона электродвигателя производится их переключение в несимметричную звезду (рис. 4). Выбор параметров фазосдвигающих элементов осуществляется из условия длительного режима рабочей схемы.

В таблице приведены емкости установленных конденсаторов, а также основные показатели однофазных микроэлектродвигателей серии УАД и электродвигателей малой мощности серии АОЛ и 4А, включенных по схеме рис. 4, при питании от однофазной сети напряжением 220 В (номинальное напряжение конденсаторов типа МБГЧ — 150 В).

На рис. 5 приведена комбинированная схема пуска электродвигателя, работающего при использовании схемы

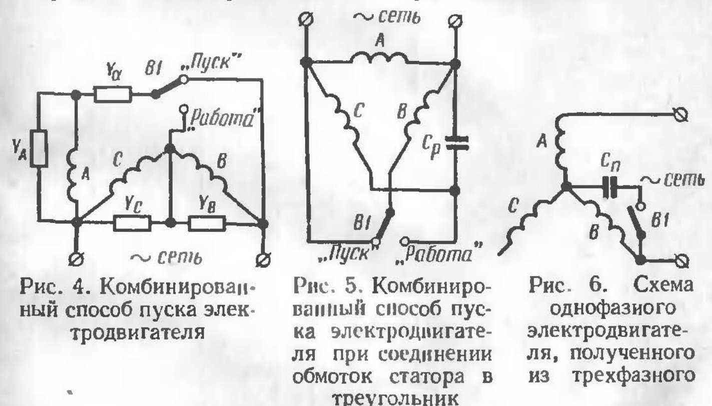


Рис. 4. Комбинированный способ пуска электродвигателя

Рис. 5. Комбинированный способ пуска электродвигателя при соединении обмоток статора в треугольник

Рис. 6. Схема однофазного электродвигателя, полученного из трехфазного

треугольник. Для получения повышенного пускового момента две обмотки включаются параллельно, а третья — последовательно с конденсатором. В рабочем режиме конденсатор шунтирует одну из трех фаз обмотки, соединенных по схеме треугольник. Хотелось бы обратить внимание на то, что переход с пусковой схемы на рабочую осуществляется при помощи простейшего переключателя с нормально открытым и нормально закрытым контактами.

Наиболее распространенным является однофазный электродвигатель, полученный из трехфазного при обрыве одного из проводов трехфазной сети. Характеристики его рабочего режима аналогичны характеристикам электродвигателя с одной обмоткой на статоре, занимающей $^2/_3$ всего числа пазов. Пусковой момент такого электродвигателя равен нулю. Между тем запуск электродвигателя легко осуществляется, если воспользоваться схемой рис. 6. Одна из фаз электродвигателя шунтируется пусковым конденсатором, емкость которого выбирается из условия создания требуемого пускового момента. Например, если нужно получить кратность пускового момента на уровне 1—1,2, то

Тип двигателя	Рабочая схема								Пусковая схема		
	$P_н$, Вт	$I_{н\ сети}$, А	C_A, мкФ	C_B, мкФ	C_C, мкФ	C_α, мкФ	$\frac{M_{макс}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{пуск}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{пуск}}{I_{н\ сети}}$	$\frac{M_{макс}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{пуск}}{M_{ном}}$
УАД-12	1,5	0,042	0,4	1,6	0,4	0,6	2,2	1,6	1,9	2,65	2,6
УАД-22	4	0,061	0,6	2,4	0,6	0,9	2,0	0,8	2,1	2,3	1,5
УАД-32	7	0,098	1,2	4	1,2	1,4	2,0	0,8	2,5	2,3	1,6
УАД-42	13	0,13	1,0	4,8	1,0	1,9	1,9	0,7	2,5	2,2	1,3
УАД-52	20	0,20	1,6	7,4	1,6	2,9	1,7	0,6	2,6	2,1	1,5
УАД-62	40	0,33	1,4	11	1,4	4,8	1,6	0,5	2,65	1,8	1,2
УАД-72	70	0,51	1,8	16,6	1,8	7,4	1,5	0,4	3,0	1,7	0,8
УАД-24	1,2	0,06	0,3	2,1	0,3	0,9	2,1	1,9	1,7	2,85	2,4
УАД-34	2,5	0,10	0,8	3,6	0,8	1,4	1,8	1,4	1,8	2,8	2,4
УАД-44	6	0,12	1,3	4,9	1,3	1,8	1,9	1,6	2,0	2,7	2,7
УАД-54	9	0,18	1,9	7,1	1,9	2,6	1,8	1,5	2,0	2,6	2,4
УАД-64	20	0,23	2,5	9,1	2,5	3,3	1,8	0,7	2,3	2,6	1,4
УАД-74	30	0,37	4,0	14,8	4,0	5,4	1,9	0,7	2,3	2,5	1,5
АОЛ-011-2	80	0,72	0,6	21,4	0,6	10,4	1,6	0,33	2,44	2,1	0,76
АОЛ-012-2	120	0,98	0,8	28,6	0,8	13,9	1,55	0,37	2,4	2,0	0,63
АОЛ-11-2	180	1,48	0,3	44,1	0,3	21,9	1,5	0,38	2,7	1,95	0,74
АОЛ-12-2	270	2,06	0,4	60,7	0,4	30	1,45	0,38	2,7	1,9	0,73
АОЛ-21-2	400	2,89	1,6	84,6	1,6	41,5	1,40	0,37	2,64	1,8	0,72
АОЛ-22-2	600	4,22	2,3	122	2,3	61,3	1,35	0,38	2,7	1,8	0,72
АОЛ-011-4	50	0,61	5,3	22,7	5,3	8,7	1,55	0,38	2,37	1,95	0,79
АОЛ-012-4	80	0,77	5,6	27,6	5,6	11	1,5	0,4	2,3	1,9	0,89
АОЛ-11-4	120	1,12	5,4	37,8	5,4	16,2	1,45	0,36	2,43	1,9	0,78
АОЛ-12-4	180	1,54	6,4	50,2	6,4	21,9	1,4	0,27	2,36	1,85	0,6
АОЛ-21-4	270	2,14	8,7	71,1	8,7	31,2	1,35	0,37	2,27	1,8	0,81
АОЛ-22-4	400	2,24	10,4	98,4	10,4	44	1,3	0,38	2,24	1,7	0,82
4АТ-71А2	750	5,17	—	150	—	74	1,42	0,27	2,92	1,96	0,6
4АТ-71В2	1100	7,4	—	200	—	100	1,32	0,26	2,71	1,94	0,59
4АТ-71А4	550	4,29	24	140	24	60	1,48	0,44	2,6	2,07	0,87
4АТ-71В4	750	5,32	30	180	30	80	1,44	0,41	2,82	2,03	0,83

Примечание. Номинальное фазовое напряжение двигателя 127 В.

можно воспользоваться такой рекомендацией относительно емкости пускового конденсатора: реактивная мощность пускового конденсатора должна быть примерно в 3 раза больше номинальной мощности включаемого трехфазного электродвигателя.

Номинальное напряжение пускового конденсатора меньше напряжения однофазной сети. Так, при напряжении сети 127 В номинальное напряжение конденсатора — 80 В, а при напряжении сети 220 В — 150 В.

Емкость пускового конденсатора (в микрофарадах)

равна:

$$C_п = \frac{P_к 10^6}{\omega U_к^2}.$$

Например, для включения трехфазного электродвигателя мощностью 1 кВт в сеть напряжением 220 В ($P_к = 3000$ ВА, $U_к = 150$ В, $\omega = 314$ об/с) необходим конденсатор емкостью 425 мкФ.

После разгона электродвигателя пусковой конденсатор отключается. В однофазном режиме такой электродвига-

тель сможет развивать мощность 500—600 Вт. Для улучшения рабочих характеристик можно зашунтировать одну из обмоток рабочим конденсатором, емкость которого выбирают из условия минимума шума, вибраций и нагрева обмоток.

Значительный интерес для радиолюбителей могут представить схемы включения в однофазную сеть трехфазных электродвигателей, изображенные на рис. 7. Напряжение на выходе автотрансформатора ($U_{авт} = KU$, U — напряжение сети) и емкость конденсатора (в микрофарадах) подбираются так, чтобы обеспечить круговое вращающееся поле при какой-либо выбранной нагрузке электродвигателя. Можно воспользоваться следующими формулами.

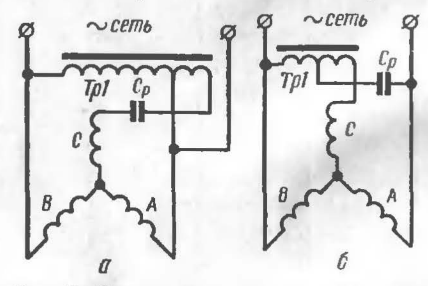


Рис. 7. Схема включения трехфазного электродвигателя в однофазную сеть: *а*—с использованием автотрансформатора; *б*—конденсатора

Для рис. 7, *а*:

$$K = \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{ctg} \varphi,$$

$$C_р = 3680 \frac{I}{U} \sin \varphi.$$

Для рис. 7, *б*:

$$K = \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{tg}(30° - \varphi),$$

$$C_р = 3680 \frac{I}{KU} \cos(30° - \varphi).$$

При напряжении сети 220 В напряжение на конденсаторе не превышает 400 В (рис. 7, *а*) и 220 В (рис. 7, *б*).

При включении электродвигателя по схеме, изображенной на рис. 7, *б*, в режиме холостого хода может возникнуть феррорезонанс, что вызовет перенапряжения на элементах. Для защиты от этого можно использовать обычный плавкий предохранитель. При пуске электродвигателя параллельно рабочему подключается пусковой конденсатор, емкость которого в 2—4 раза больше емкости рабочего конденсатора.

Какие типы конденсаторов можно использовать в качестве рабочих и пусковых?

В качестве рабочих конденсаторов чаще всего используют металлобумажные конденсаторы типа МБГО, МБГП, МБГЧ; можно использовать также конденсаторы типа

МБГ-МН, но при этом значительно возрастет объем конденсаторной батареи, так как указанные конденсаторы имеют большой удельный вес на единицу реактивной мощности. Для всех этих конденсаторов, кроме МБГЧ, номинальное напряжение указано для постоянного тока. Надежная работа конденсаторов постоянного тока в конденсаторных электродвигателях достигается при выборе двух-, трехкратного запаса по напряжению. Только конденсаторы МБГЧ рассчитаны на работу в цепях переменного тока, поэтому они выбираются из каталога на напряжение, ближайшее к большему по отношению к номинальному напряжению фазы.

В качестве пусковых конденсаторов целесообразно применять электролитические конденсаторы переменного тока типа К50-19. Можно применять электролитические конденсаторы типа КЭ-2Н, К50-3 соответствующей емкости и с запасом по номинальному напряжению не менее 3.

Пуск двигателя и отключение пускового конденсатора можно производить с помощью кнопки ПНВС, причем кнопку «*Пуск*» необходимо держать нажатой до полного разгона электродвигателя (при пуске под нагрузкой обычно 3—4 с), после отпускания кнопки пусковой конденсатор отключается.

Необходимо учитывать, что при работе электродвигателя в режиме холостого хода по конденсаторной обмотке протекает ток на 30—40% больше номинального, что ведет к нежелательному перегреву электродвигателя, поэтому такой режим допустим только на небольшой промежуток времени.

Подробные сведения по исследованию работы трехфазного электродвигателя при питании от однофазной сети изложены в следующей литературе:

Адаменко А. И. Однофазные конденсаторные двигатели. Киев, изд-во АН УССР, 1960.

Адаменко А. И. Несимметричные асинхронные машины. Киев, изд-во АН УССР, 1962.

Адаменко А. И. Методы исследования несимметричных асинхронных машин. Киев, «Наукова думка», 1969.

Адаменко А. И., Кисленко В. И. Преобразователи однофазного тока в многофазный. Киев, «Техника», 1971.

СОДЕРЖАНИЕ

6Ф2.9
В80

В помощь радиолюбителю. Выпуск 49. М.,
В80 ДОСААФ, 1975.
78 с. с ил.
На конц. пол. сост. А. И. Гусев

В сборнике приведены описания радиолюбительских конструкций и методика расчета некоторых узлов аппаратуры. В описаниях содержатся все необходимые данные для воспроизводства конструкций радиолюбителями средней квалификации. Тематика сборника разнообразна. Он рассчитан на самые широкие круги радиолюбителей.

В $\frac{30402-039}{072(02)-75}$ 81—75 6Ф2.9

В ПОМОЩЬ РАДИОЛЮБИТЕЛЮ

Выпуск 49

Составитель *Александр Иванович Гусев*

Редакторы С. В. Аникина, С. И. Дворядкина
Художественный редактор Т. А. Хитрова
Технический редактор В. Н. Кошелева
Корректор П. Б. Иваницкая

Т-75622. Сдано в набор 16.12.74 г. Подписано к печати 19.3.75 г. Изд. № 2/420. Формат 84×108 1/32. Бумага типографская № 2. Тираж 300.000 экз. Цена 17 коп. Усл. п. л. 4,2. Уч.-изд. л. 3,94. Зак. 4—3072.

Изд-во ДОСААФ, 107066, Москва, Б-66, ул. Новорязанская, д. 26.

Головное предприятие республиканского производственного объединения «Полиграфкнига» Госкомиздата УССР, Киев, Довженко, 3.